

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THIAGO WOICIECHOWSKI

**CICLAGEM DE FITOMASSA E NUTRIENTES NA FLORESTA OMBRÓFILA
DENSE SUBMONTANA NO LITORAL DO PARANÁ**

**CURITIBA
2015**

THIAGO WOICIECHOWSKI

**CICLAGEM DE FITOMASSA E NUTRIENTES NA FLORESTA OMBRÓFILA
DENSE SUBMONTANA NO LITORAL DO PARANÁ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração Conservação da Natureza, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito à obtenção do título de Doutor em Engenharia Florestal.

Orientador: Professor Dr. Renato Marques

**CURITIBA
2015**

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Woiciechowski, Thiago

Ciclagem de fitomassa e nutrientes na floresta ombrófila densa submontana
no litoral do Paraná / Thiago Woiciechowski. – Curitiba, 2015.
133 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Renato Marques

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa:
Curitiba, 30/01/2015.

Área de concentração: Conservação da Natureza.

1. Solos florestais. 2. Ciclo mineral (Biogeoquímica). 3. Serapilheira - Paraná.
4. Ciclos biogeoquímicos. 5. Teses. I. Marques, Renato. II. Universidade Federal
do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. III. Título.

CDD – 577.57
CDU – 634.0.114



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

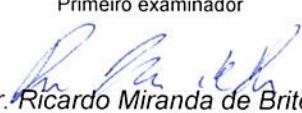
PARECER

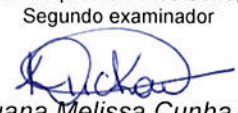
Defesa nº. 1074


A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) doutorando(a) *Thiago Woiciechowski* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**CICLAGEM DE FITOMASSA E NUTRIENTES NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA NO LITORAL DO PARANÁ**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em CONSERVAÇÃO DA NATUREZA.



Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira

Universidade Federal do Espírito Santo
Primeiro examinador


Dr. Ricardo Miranda de Britez
Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem - SPVS
Segundo examinador

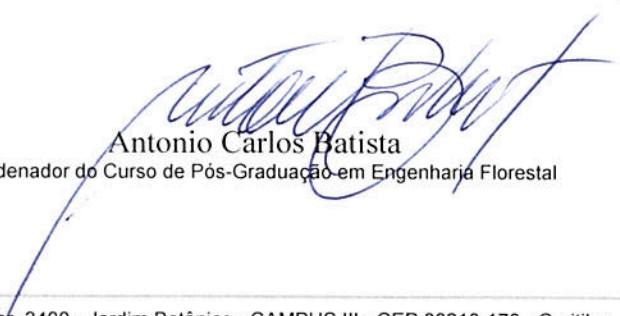

Dr. Kauana Melissa Cunha Dickow
Fundação Universidade do Contestado
Terceiro examinador


Dr. Antonio Carlos Vargas Motta
Universidade Federal do Paraná
Quarto examinador


Dr. Renato Marques
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 30 de janeiro de 2015.


Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

*Dedico esta obra à minha filha Ilana Beatriz Woiciechowski, luz da
minha vida e do meu caminho.*

"Todo trabalho nobre, toda dedicação guiada por um ideal verdadeiro, conduz a alma humana em direção às portas que levam à espiritualidade plena. "
Senhor Ogum Shorokê

AGRADECIMENTOS

À família Woiciechowski, meus pais, Orley e Marilda e meus irmãos, Andressa, Anny Caroline, Renan e Gabriella; e Rhamon, meu sobrinho, pelo apoio, amor e dedicação em toda essa jornada de anos de estudo.

Ao meu companheiro, Jorge Willian Francisco de Souza, pelo amor, companheirismo, incentivo, carinho, entrega, paciência e cuidado comigo em todos os momentos durante o desenvolvimento desse trabalho.

Ao meu orientador, professor Doutor Renato Marques, pela orientação, confiança no desenvolvimento deste trabalho, aprendizado durante os anos de convivência e pela amizade.

À banca examinadora, pelas contribuições, correções e auxílio na elaboração e redação da tese.

Aos meus amigos e colegas de pós-graduação: Fabiana de Medeiros Silveira, Hilbert Blum, Cilmar Antônio Dalmasso, Pamela Suelen Salvador Dutra e Cristine Gobel Donha, pelo companheirismo e amizade, seja com palavras de incentivo e conforto como também pelo auxílio na obtenção dos dados e resultados deste trabalho.

Ao meu Pai Oxóssi, Orixá sagrado, detendor do conhecimento e da fartura e aos meus guias espirituais, que me auxiliam nos momentos de dor e agonia, como também, nos momentos de serenidade e caridade; e que me abençoam e iluminam com a graça do nosso senhor DEUS-Olorum maior.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal pela oportunidade de realização deste trabalho.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

À SPVS, pela cessão da área de estudo e apoio dos “mateiros”, sempre muito atenciosos nas saídas a campo.

Ao SIMEPAR, pelo fornecimento dos dados meteorológicos.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Thiago Woiciechowski, filho de Orley José Woiciechowski e Marilda Pacheco, nasceu em Ponta Grossa, Paraná no dia 14 de novembro de 1985. Morou até os 19 anos nesta cidade, estudando no Colégio Estadual Elzira Correia de Sá até a oitava série do ensino fundamental, e na Universidade Tecnológica Federal do Paraná em Ponta Grossa (UTFPR), antigo CEFET, onde foi aprovado em um processo seletivo do para cursar o ensino médio, concluído em 2003. Foi aprovado no vestibular para o curso de Tecnologia em Alimentos em 2004, pela UTFPR – Ponta Grossa, cursando por seis meses.

Em 2005, foi aprovado nos cursos de Agronomia e de Engenharia Florestal, pela UTFPR - Pato Branco e Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO), respectivamente onde se mudou para Irati, PR, optando por cursar a graduação em Engenharia Florestal e concluindo o curso em 2008. Ainda, foi premiado como o Aluno Destaque do curso de Engenharia Florestal em 2008.

Em 2009, iniciou o mestrado em Ciências Florestais e sua dissertação versou sobre “Avaliação dos atributos de um Cambissolo Háplico e crescimento inicial de *Eucalyptus benthamii* após a aplicação de biocarvão na região de Irati, PR”. Em fevereiro de 2011 concluiu o mestrado e, em março de 2011, ingressou no doutorado em Engenharia Florestal da UFPR, área de concentração Conservação da Natureza trabalhando com “Ciclagem de fitomassa e nutrientes na Floresta Ombrófila Densa Submontana no litoral do Paraná” orientado pelo professor Dr. Renato Marques.

Em julho de 2011, foi aprovado em primeiro lugar no concurso para professor substituto no curso de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá - UEM, sendo novamente aprovado em um novo concurso em agosto de 2013. Na UEM, lecionou disciplinas ligadas as áreas de Silvicultura, Gestão e Legislação Ambiental. Em junho de 2014, foi aprovado em primeiro lugar no concurso para professor titular na Universidade Estadual de Goiás (UEG) campus de Ipameri/GO no departamento de Engenharia Florestal e em setembro de 2014, foi aprovado em primeiro lugar no concurso para professor titular na Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, campus de Aquidauana/MS para o curso de Engenharia Florestal e Agronomia.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	2
1. INTRODUÇÃO GERAL	2
2. OBJETIVOS	6
2.1 Objetivo geral	6
2.2 Objetivos específicos	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	6
3.1 Caracterização da área de estudo	6
3.2 Caracterização da vegetação nos sítios em estudo.....	8
3.3 Caracterização geomorfológica e dos solos	10
3.4 Caracterização do clima.....	13
3.5 Procedimento geral	15
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15

CAPÍTULO I

DEPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA E NUTRIENTES EM SUCESSÃO SECUNDÁRIA NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA DO LITORAL DO PARANÁ.

1.	INTRODUÇÃO	22
2.	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
3.1	Deposição da serapilheira.....	27
3.2	Nutrientes da serapilheira depositada.....	46
3.3	Aporte de nutrientes em florestas secundárias	57
4.	CONCLUSÕES	68
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

CAPÍTULO II

ACÚMULO DE SERAPILHEIRA E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA DO LITORAL DO PARANÁ

1. INTRODUÇÃO	80
1.1 Acúmulo de serapilheira em florestas	80
1.2 Análise do padrão espacial em áreas florestais.....	81
2. MATERIAL E MÉTODOS	84
2.1 Procedimentos gerais	84

2.2	Processamento da serapilheira acumulada	86
2.3	Análise da distribuição espacial da serapilheira.....	87
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	89
4.	CONCLUSÕES	105
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
CAPÍTULO III		
MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO NO SOLO NA FLORESTA OMBRÓFILA		
DENSE SUBMONTANA DO LITORAL DO PARANÁ		
		112
1.	INTRODUÇÃO	113
2.	MATERIAL E MÉTODOS	116
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	118
3.1	Nitrogênio mineralizado	118
3.2	Nitrogênio acumulado	121
4.	CONCLUSÕES	123
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
ANEXOS.....		131

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. PARÂMETROS FITOSSOCIOLÓGICOS DOS SEIS SÍTIOS EM ESTUDO	10
TABELA 2. PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO NOS SÍTIOS EM ESTUDO NAS PROFUNDIDADES DE 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm.	12
TABELA 3. PRODUÇÃO TOTAL E MÉDIA (Kg.ha^{-1}) DE SERAPILHEIRA POR ESTAÇÃO DO ANO EM SEIS SÍTIOS EM FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.	28
TABELA 4. VALORES ANUAIS DE DEPOSIÇÃO DE FITOMASSA EM FLORESTAS SECUNDÁRAS EM ALGUMAS FITOFISIONOMIAS BRASILEIRAS.....	31
TABELA 5. FITOMASSA DEPOSITADA POR FRAÇÕES E ESPÉCIES EM ÁREAS DE FLORESTA SECUNDÁRIA EM SÍTIOS MAIS VELHOS NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.	32
TABELA 6. FITOMASSA DEPOSITADA POR FRAÇÕES E ESPÉCIES EM ÁREAS DE FLORESTA SECUNDÁRIA EM SÍTIOS INTERMEDIÁRIOS NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.	33
TABELA 7. FITOMASSA DEPOSITADA POR FRAÇÕES E ESPÉCIES EM ÁREAS DE FLORESTA SECUNDÁRIA EM SÍTIOS MAIS JOVENS NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.	34
TABELA 8. FITOMASSA DEPOSITADA POR FRAÇÕES EM SEIS SÍTIOS EM FLORESTA SECUNDÁRIA NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.	36
TABELA 9. CORRELAÇÃO ENTRE AS MÉDIAS MENSAS DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS COM A DEPOSIÇÃO EM SEIS SÍTIOS EM FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA, EM ANTONINA, PR.	38
TABELA 10. CORRELAÇÃO ENTRE AS MÉDIAS MENSAS DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS COM A DEPOSIÇÃO FOLIAR DE TRÊS PRINCIPAIS ESPÉCIES EM SEIS SÍTIOS EM FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.	45

TABELA 11. CONCENTRAÇÃO DE C, N E RELAÇÃO C/N DAS FRAÇÕES DE SERAPILHEIRA DE SEIS SÍTIOS EM FORMAÇÕES SECUNDÁRIAS NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.	47
TABELA 12. CONCENTRAÇÃO DE C, N E RELAÇÃO C/N NAS FOLHAS DE TRES PRINCIPAIS ESPÉCIES EM SEIS SÍTIOS EM FORMAÇÕES SECUNDÁRIAS NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.	49
TABELA 13. CONCENTRAÇÃO DE MACRO E MICRONUTRIENTES; E ALUMÍNIO POR FRAÇÕES EM SEIS SÍTIOS EM FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.	50
TABELA 14. CONCENTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES E Al (g.kg ⁻¹) NAS FOLHAS DE ESPÉCIES EM SEIS SÍTIOS EM FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.	55
TABELA 15. CONCENTRAÇÃO DE MICRONUTRIENTES (mg.kg ⁻¹) NAS FOLHAS DE ESPÉCIES EM SEIS SÍTIOS EM FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.	57
TABELA 16. QUANTIDADE MÉDIA ESTACIONAL E ANUAL DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE SERAPILHEIRA DA FLORESTA SECUNDÁRIA MAIS VELHA (FS1) NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.	58
TABELA 17. QUANTIDADE MÉDIA ESTACIONAL E ANUAL DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE SERAPILHEIRA DA FLORESTA SECUNDÁRIA MAIS VELHA (FS2) NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.	59
TABELA 18. QUANTIDADE MÉDIA ESTACIONAL E ANUAL DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE SERAPILHEIRA DA FLORESTA SECUNDÁRIA INTERMEDIÁRIA (FS3) NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.	60
TABELA 19. QUANTIDADE MÉDIA ESTACIONAL E ANUAL DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE SERAPILHEIRA DA FLORESTA SECUNDÁRIA INTERMEDIÁRIA (FS4) NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.	61

TABELA 20. QUANTIDADE MÉDIA ESTACIONAL E ANUAL DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE SERAPILHEIRA DA FLORESTA SECUNDÁRIA MAIS NOVA (FS5) NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.....	62
TABELA 21. QUANTIDADE MÉDIA ESTACIONAL E ANUAL DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE SERAPILHEIRA DA FLORESTA SECUNDÁRIA MAIS NOVA (FS6) NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.....	63
TABELA 22. FITOMASSA ACUMULADA (Mg.ha^{-1}) EM SEIS SÍTIOS EM FORMAÇÕES SECUNDÁRIAS NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.	90
TABELA 23. FITOMASSA ACUMULADA (Mg. ha^{-1}) NAS FRAÇÕES EM DOIS ANOS EM SEIS SÍTIOS EM FORMAÇÕES FLORESTAIS SECUNDÁRIAS NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.	93
TABELA 24. NITROGÊNIO POTENCIALMENTE MINERALIZÁVEL ($\text{mg de N. kg.solo}^{-1}$) NO SOLO EM SEIS SÍTIOS EM FLORESTAS SECUNDÁRIAS, NO INVERNO E NO VERÃO, EM ANTONINA, PR.	122

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS À RNRC, MUNICÍPIO DE ANTONINA, PARANÁ, ADAPTADO DE SPVS.	7
FIGURA 2. PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA - MÉDIAS HISTÓRICAS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE ANTONINA, PR. Dados cedidos pelo SIMEPAR	14
FIGURA 3. PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA, MÉDIAS NOS ANOS DE ESTUDO, DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE ANTONINA, PR. Dados cedidos pelo SIMEPAR.	14
FIGURA 4. VARIAÇÃO MENSAL DA DEPOSIÇÃO TOTAL DE SERAPILHEIRA EM SEIS SÍTIOS EM FORMAÇÕES SECUNDÁRIAS DA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR NOS ANOS DE 2009 A 2010.	28

FIGURA 5. VARIAÇÃO MENSAL DA DEPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA DE DIFERENTES ESPÉCIES, EM SEIS SÍTIOS COM DIFERENTES IDADES, NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR..	41
FIGURA 6. COMPARAÇÃO DO APORTE DE NUTRIENTES EM SEIS FORMAÇÕES SECUNDÁRIAS EM FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.	67
FIGURA 7. GABARITO UTILIZADO NA COLETA SISTEMATIZADA DE SERAPILHEIRA ACUMULADA.	85
FIGURA 8. ÁREA DA PARCELA E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS SUBPARCELAS NA COLETA SISTEMATIZADA DE SERAPILHEIRA ACUMULADA.	85
FIGURA 9. FRAÇÕES DE SERAPILHEIRA ACUMULADA. A- FOLHAS EM DECOMPOSIÇÃO; B- ÓRGÃOS REPRODUTIVOS; C – RAMOS; D- FOLHAS RECÉM CAÍDAS.	87
FIGURA 10. MAPAS ESPACIALIZADOS INTERPOLADOS PELO MÉTODO DE KERNEL DO ACÚMULO DE SERAPILHEIRA TOTAL ($Mg \cdot ha^{-1}$) EM SEIS SÍTIOS NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa NO VERÃO E INVERNO, NOS ANOS DE 2013 E 2014, EM ANTONINA, PR.	96
FIGURA 11. MAPAS ESPACIALIZADOS INTERPOLADOS PELO MÉTODO DE KERNEL DA FRAÇÃO FOLHAS EM DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA ACUMULADA ($Mg \cdot ha^{-1}$) EM SEIS SÍTIOS NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa NO VERÃO E INVERNO, NOS ANOS DE 2013 E 2014, EM ANTONINA, PR.	97
FIGURA 12. MAPAS ESPACIALIZADOS INTERPOLADOS PELO MÉTODO DE KERNEL DA FRAÇÃO FOLHAS RECÉM CAÍDAS DA SERAPILHEIRA ACUMULADA ($Mg \cdot ha^{-1}$) EM SEIS SÍTIOS NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa NO VERÃO E INVERNO, NOS ANOS DE 2013 E 2014, EM ANTONINA, PR.	98
FIGURA 13. MAPAS ESPACIALIZADOS INTERPOLADOS PELO MÉTODO DE KERNEL DA FRAÇÃO RAMOS DA SERAPILHEIRA ACUMULADA ($Mg \cdot ha^{-1}$) EM SEIS SÍTIOS NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa NO VERÃO E INVERNO, NOS ANOS DE 2013 E 2014, EM ANTONINA, PR.	99

FIGURA 14. MAPAS ESPACIALIZADOS INTERPOLADOS PELO MÉTODO DE KERNEL DA FRAÇÃO MISCELÂNEA DA SERAPILHEIRA ACUMULADA (Mg.ha^{-1}) EM SEIS SÍTIOS NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa NO VERÃO E INVERNO, NOS ANOS DE 2013 E 2014, EM ANTONINA, PR.....	100
FIGURA 15. MAPAS ESPACIALIZADOS INTERPOLADOS PELO MÉTODO DE KERNEL DA FRAÇÃO ÓRGÃOS REPRODUTIVOS DA SERAPILHEIRA ACUMULADA (Mg.ha^{-1}) EM SEIS SÍTIOS NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa NO VERÃO E INVERNO, NOS ANOS DE 2013 E 2014, EM ANTONINA, PR.....	101
FIGURA 16. MAPAS ESPACIALIZADOS INTERPOLADOS PELO MÉTODO DE KERNEL DA CONCENTRAÇÃO DE CARBONO NO SOLO (g.kg^{-1}) EM TRÊS CAMADAS, 0-5 cm; 5-10 cm E 10-20 cm, EM SEIS SÍTIOS NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa, EM ANTONINA, PR.	102
FIGURA 17. MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO EM SEIS SÍTIOS EM SUCESSÃO SECUNDÁRIA NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa EM UM PERÍODO DE 0 A 60 DIAS DE INCUBAÇÃO EM ANTONINA, PR.	119
FIGURA 18. NITROGÊNIO MINERAL MÉDIO ACUMULADO EM SEIS SÍTIOS SUCESSÃO SECUNDÁRIA NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa EM ANTONINA, PR.....	122

RESUMO GERAL

Este trabalho teve por finalidade avaliar a ciclagem de nutrientes, por meio do estudo da deposição e acúmulo de serapilheira, além da mineralização do nitrogênio no solo em florestas secundárias na Floresta Ombrófila Densa Submontana, na Reserva Natural do Rio Cachoeira, município de Antonina/PR. Foram selecionados seis sítios com diferentes idades, sendo dois mais velhos que 100 anos (FS1 e FS2), dois entre 80 e 60 anos (FS3 e FS4), um entre 60 e 40 anos (FS5) e o último entre 20 e 30 anos (FS6). Cada parcela media 10.000 m² e possuía 100 subparcelas de 100 m² cada. As coletas de serapilheira depositada foram realizadas mensalmente entre outubro de 2009 e setembro de 2010. O material foi triado, seco em estufa, e separado em frações, para a pesagem e análise química. Além disso, foi quantificada a serapilheira acumulada coletada semestralmente em 25 pontos sistematizados dentro das parcelas no final das estações verão e inverno dos anos de 2013 e 2014. O material foi triado, seco em estufa, separado em frações e pesado e posteriormente. Foram estabelecidos mapas da distribuição espacial da serapilheira acumulada, usando-se do modelo de interpolação de Kernel. Foram também conduzidos ensaios para estimar a mineralização do nitrogênio em três períodos (inverno 2013, verão 2014 e inverno 2014), realizando-se coletas de solo na profundidade de 0-5 cm, em nove pontos sistematizados nas parcelas. A produção anual de serapilheira variou entre 4934 e 10130 kg.ha⁻¹, com maiores deposições nas estações mais quentes (setembro 2009 a março 2010). A fração folhas foi responsável pela maior porcentagem e pelo padrão de deposição. A quantidade anual de nutrientes e alumínio que retorna ao solo via serapilheira apresentou na maior parte dos casos a seguinte sequência decrescente: N>Ca>K>Mg>Al>P. E para micronutrientes: Mn>Fe>Zn>Cu em todos os sítios. A fração miscelânea foi a que mais contribuiu para o retorno de nutrientes nas áreas mais velhas e a fração folhas contribuiu mais nos demais sítios. A sequência para o aporte total de nutrientes nas áreas em estudo foi: FS1>FS2>FS5>FS6>FS4>FS3 indicando a influência da idade no retorno de nutrientes. As quantidades totais de serapilheira acumulada em todas as áreas de floresta secundária variaram de 4,6 a 9,4 Mg.ha⁻¹. A fração folhas em decomposição representou a maior taxa de acúmulo. Os mapas de distribuição

espacial da serapilheira mostraram que o carbono no solo foi maior nas áreas que menos acumularam serapilheira. Foi observado um efeito sazonal no acúmulo total de serapilheira e de folhas em decomposição apenas para o sítio FS1. As demais frações de serapilheira acumulada tiveram distribuição espacial regular, sem influência da idade e da época de coleta. A mineralização do N no solo mostrou-se pouco diferenciada entre os sítios de estudo mas bastante influenciada pela precipitação observada nos diferentes períodos de estudo, reforçando a importância na disponibilidade de água no solo para este processo biogeoquímico.

Palavras chave: biogeoquímica, serapilheira, interpolação, mineralização.

GENERAL ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate nutrient cycling by studying the dynamics of litterfall and litter accumulation, in addition to nitrogen mineralization, in secondary forests of the Southern Brazilian Atlantic Rainforest. Six sites were selected with ages varying for more than 100 years-old (FS1 and FS2), between 80 and 60 years-old (FS3 and FS4), between 60 and 40 years-old (FS5), and between 20 and 30 years-old (FS6). The plots measured 10,000 m², and were divided by 100 subplots of 100 m² each. Litterfall was collected on 25 traps per site. Sampling occurred monthly between October 2009 and September 2010. The material was fractioned before weighing and chemical analysis. It was also estimated the litterstock, collected at the end of the summer and winter seasons of the years 2013 and 2014. This material was also separated by fractions. Spatial litterstock maps were created by using a Kernel interpolation model. Finally, three assays were performed to estimate the soil N mineralization (winter of 2013, summer and winter of 2014). The annual litterfall production varied from 4934 to 10130 kg.ha⁻¹, with the largest inputs during the warmer seasons (September 2009 to March 2010). The leaves accounted for the largest percentage of litterfall and defined the deposition pattern. For the most of the sites the annual input of nutrients showed the following sequence: N>Ca>K> Mg>Al>P; and Mn> Fe>Zn>Cu for all sites. The hodgepodge fraction was the largest contributor to the return of nutrients on the older areas and the

fraction leaves contributed more on the other sites. The decrescent sequence for the total supply of nutrients was: FS1>FS2>FS5>FS6>FS4>FS3 indicating an age influence on the return of nutrients. The total litterstock varied from 4.6 to 9.4 Mg.ha⁻¹. The fraction of decomposing leaves represented the largest accumulation rate. The maps of litterstock spacial distribution showed the biggest values of carbon in the soil of the areas with the lowest material accumulation. A seasonal effect was observed for the total litterstock and for decomposing leaves, only for the site FS1. The other fractions showed regular spatial distribution without influence of age or season. The soil N mineralization showed no site effect but it was influenced by rainfall amount of the different seasons, and this highlight the importance of soil water availability for this biogeochemical process.

Keywords: biogeochemistry, litter, interpolation, mineralization.

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO GERAL

A Floresta Atlântica já foi uma das maiores florestas da América do Sul. Também chamada de Mata Atlântica, é um dos 25 *hotspots* de biodiversidade reconhecidos no mundo, ou seja, uma das áreas mais ricas em biodiversidade e mais ameaçadas do planeta (MYERS et al., 2000). Foi também decretada Reserva da Biosfera pela UNESCO e Patrimônio Nacional na Constituição Federal de 1988. A Mata Atlântica é, provavelmente, o ecossistema mais devastado do planeta, uma vez que suas áreas já perderam pelo menos 70% da cobertura vegetal original. No ano de 2009, a estimativa da vegetação remanescente de Floresta Atlântica ficou entre 11,4 e 16% da cobertura original (RIBEIRO et al., 2009). Atualmente restam 8,5% de remanescentes florestais, acima de 100 hectares, do que existia originalmente; e somados todos os fragmentos de floresta nativa acima de 3 hectares tem-se 12,5% de cobertura original (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2014).

A Mata Atlântica é o terceiro maior bioma do Brasil em extensão, ocupando cerca de 111 milhões de hectares (IBGE, 2004). Oficialmente, o Estado do Paraná possui uma extensão de 199.729 km², dos quais 84,7% ou 169.197 km², estavam originalmente cobertos pela Mata Atlântica. Com 36,5% da sua vegetação original, a Serra do Mar é a região mais conservada da Floresta Atlântica e o segundo maior fragmento está localizado na zona costeira do Estado do Paraná, com quase 509 mil ha de extensão (RIBEIRO et al., 2009). Nessa porção leste do estado, definida praticamente em toda sua extensão pela barreira geográfica natural da Serra do Mar, situa-se a região da Floresta Ombrófila Densa (RODERJAN et al., 2002).

O termo ombrófila é de origem grega e significa “amigo das chuvas” (VELOSO, 1992). De acordo com a fisionomia, essa subclasse de formação é subdividida em Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta e Floresta Ombrófila Mista (IBGE, 2012).

A Floresta Ombrófila Densa ocorre em climas tropicais de alta temperatura e de alta precipitação bem distribuídas durante o ano (0 a 60 dias secos). São mais exuberantes nas áreas de clima tropical chuvoso de floresta (Af), onde não há estação seca, como no domínio da floresta amazônica ocidental ou na mata atlântica de parte do litoral brasileiro. As áreas deste estudo encontram-se em Floresta Ombrófila Densa Submontana, situada nas encostas dos planaltos e/ou serras com altitudes variáveis entre 50 e 400 m, com elevada diversidade e riqueza de espécies. Algumas espécies típicas no dossel dessa formação são: *Alchornea triplinervia* Allemão; *Bathysa meridionalis* L. B. Sm. & Downs; *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart.; *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze; *Cedrela fissilis* Vell; *Cyathea hirsuta* C. Presl.; *Euterpe edulis*; *Garcinia gardneriana* (Planch. & Triana) Zapp; *Geonoma schottiana* Mart.; *Geonoma elegans* Mart.; *Guapira opposita* (Vell.) Reitz; *Hieronima alchorneoides* Allemão; *Ocotea catharinensis* Mez; *Pseudopiptadenia warmingii* (Benth.) G.P. Lewis & M.P. Lima; *Psychotria nuda* (Cham. & Schltdl.) Wawra; *Psychotria suterella* Müll. Arg.; *Sloanea guianensis* (Aubl.) Benth.; *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake; *Virola bicuhyba* (Schott ex Spreng.) Warb. e *Vochysia bifalcata* Warm (RODERJAN et al.; 2002).

As transformações pelas quais passam as florestas secundárias ao longo da sucessão, como o aumento do desenvolvimento estrutural, provocadas pela competição entre as árvores por nutrientes e luz ou pelo maior número de espécies arbóreas pioneiras e pelo aumento em estatura e diâmetro do tronco de árvores em crescimento, podem conduzir a produções elevadas de serapilheira (JANZEN, 1980; LEIGH Jr., 1999). Assim, a condição das florestas secundárias de apresentarem menor desenvolvimento estrutural em relação às florestas mais desenvolvidas, pode levar às diferenças de produção total de serapilheira entre os determinados sítios. A serapilheira, camada mais superficial do solo em ambientes florestais, compreende ramos, folhas, órgãos reprodutivos e detritos, controla diretamente a quantidade de nutrientes que retorna para o solo e seu acúmulo pode estar relacionado com o grau de perturbação dos ecossistemas (SCORIZA et. al., 2012).

A produção de serapilheira é considerada um mecanismo de transferência de nutrientes da biomassa de espécies arbóreas para o solo, e a produção da serapilheira afeta e regula a quantidade de nutrientes restituídos ao solo em função dos sítios em que as áreas se encontram (TOLEDO et. al., 2002).

O processo de ciclagem de nutrientes nos ecossistemas florestais pode ser abordado em diferentes níveis de detalhamento onde a sistemática é adotada em três ciclos: geoquímico, bioquímico e biogeoquímico. Este último, e que é mais amplo, o compreende os processos de transferência dos nutrientes dentro do sistema solo-planta-serapilheira. Esse processo inicia-se com a absorção dos nutrientes pelas raízes e sua incorporação na biomassa arbórea e posteriormente retorno dos nutrientes dessa biomassa para o solo através da produção da serapilheira constituída pela derrubada de folhas, ramos, órgãos reprodutivos, cascas (POGGIANI, 2012).

Quando a serapilheira entra em contato com o solo, o seu aproveitamento se dá através da ciclagem de nutrientes através da decomposição da mesma e a liberação dos nutrientes constituintes para uma posterior reabsorção pelas raízes das plantas (KLEINPAUL et al., 2003). Além do mais, o conhecimento de um provável padrão de acúmulo dentro dos sítios pode refletir se existem fatores atuantes na repartição do material dentro das áreas. A variação espacial sazonal na quantidade de serapilheira por unidade de área pode também detectar alguma tendência sazonal em seu acúmulo (TOLEDO et. al., 2002).

O ciclo biogeoquímico é importante para a manutenção da diversidade e funcionalidade de diversos ecossistemas, principalmente para as florestas tropicais. No caso da Floresta Atlântica do litoral do Paraná, estudos vêm sendo realizados desde os anos 90, com avaliação de diferentes ambientes e abordando diferentes aspectos da ciclagem de nutrientes nos diferentes ecossistemas estudados (BRITEZ, 1994; BOEGER, 2000; PINTO, 2001; HINKEL, 2002; MARTINS, 2004; PROTIL, 2006; ROCHA, 2006; SCHEER, 2006; DICKOW, 2010; BIANCHIN, 2013).

Apesar dos estudos terem se iniciado há mais de 20 anos e de vários ambientes terem sido estudados, muitas áreas carecem de estudos e muitas

abordagens científicas devem ainda ser empregadas para uma melhor compreensão da dinâmica biogeoquímica nestas florestas. Considerando que as florestas secundárias apresentam diferentes estágios de desenvolvimento sucessional, com consequente diversidade florística e estrutural e que isto, associado às variações nas condições climáticas, pode ser determinante no processo de ciclagem de nutrientes, estudos ainda são necessários para melhor caracterizar os diferentes fatores envolvidos nos processos biogeoquímicos. Portanto, a proposta deste trabalho foi investigar a deposição de fitomassa e nutrientes, sua acumulação espacial, e a mineralização do nitrogênio do solo em seis sítios florestais com idade, estrutura e florística distintas, na área de abrangência da Floresta Ombrófila Densa Submontana, no litoral paranaense.

Assim, este trabalho foi dividido em quatro capítulos. Nesta “Introdução” é apresentada a justificativa do trabalho, seus objetivos e também aspectos mais gerais das áreas de estudo e das metodologias empregadas para o trabalho de tese. No Capítulo I é apresentado o estudo sobre deposição de serapilheira e de nutrientes nas florestas. No capítulo II está o estudo sobre acumulação espacial da serapilheira. No capítulo III, encontra-se o estudo sobre mineralização de nitrogênio no solo.

As hipóteses gerais deste trabalho são descritas a partir de questionamentos:

- i) A idade do estágio sucessional dos sítios tem influência na quantidade de serapilheira (depositada e acumulada - total e frações) e de nutrientes nesta serapilheira?
- ii) A quantidade de serapilheira depositada apresenta alguma relação com a variação das variáveis meteorológicas?
- iii) A idade do estágio sucessional dos sítios tem influência na variação da acumulação espacial da serapilheira?
- iv) A época do ano influencia na quantidade de fitomassa acumulada espacialmente?
- v) A idade do estágio sucessional dos sítios tem influência no potencial de mineralização do nitrogênio do solo?

- vi) A época do ano tem influência nas taxas de mineralização do nitrogênio do solo?

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente estudo teve por objetivo avaliar a deposição de fitomassa e nutrientes, sua acumulação espacial, e a mineralização do nitrogênio do solo em seis sítios em florestas secundárias com idades distintas, em diferentes estações do ano, na região de ocorrência da Floresta Ombrófila Densa Submontana, no litoral paranaense.

2.2 Objetivos específicos

- i. Avaliar a influência da idade da floresta na deposição e no fracionamento da serapilheira e na concentração e aporte de nutrientes desta serapilheira;
- ii. Correlacionar a deposição de serapilheira com algumas variáveis meteorológicas;
- iii. Mapear a acumulação espacial da serapilheira total e de suas frações e avaliar o efeito dos estágios de desenvolvimento da floresta e das estações do ano nos padrões de acumulação;
- iv. Avaliar a mineralização do nitrogênio no solo e sua correlação com a idade da floresta e com as estações do ano.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada na Reserva Natural do Rio Cachoeira (RNRC), uma unidade de conservação particular de propriedade da organização não governamental Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental (SPVS), inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) de

Guaraqueçaba, em Antonina, litoral do estado do Paraná, sul do Brasil. A RNRC representa 10,33% da superfície do município (Figura 1). Sua área atual é de 8.635,90 ha. Seus pontos extremos têm como coordenadas geográficas as Latitudes 25°24' - 25°41' – Sul e as Longitudes de 48°64' - 48°74' - Oeste (SPVS, 2013).

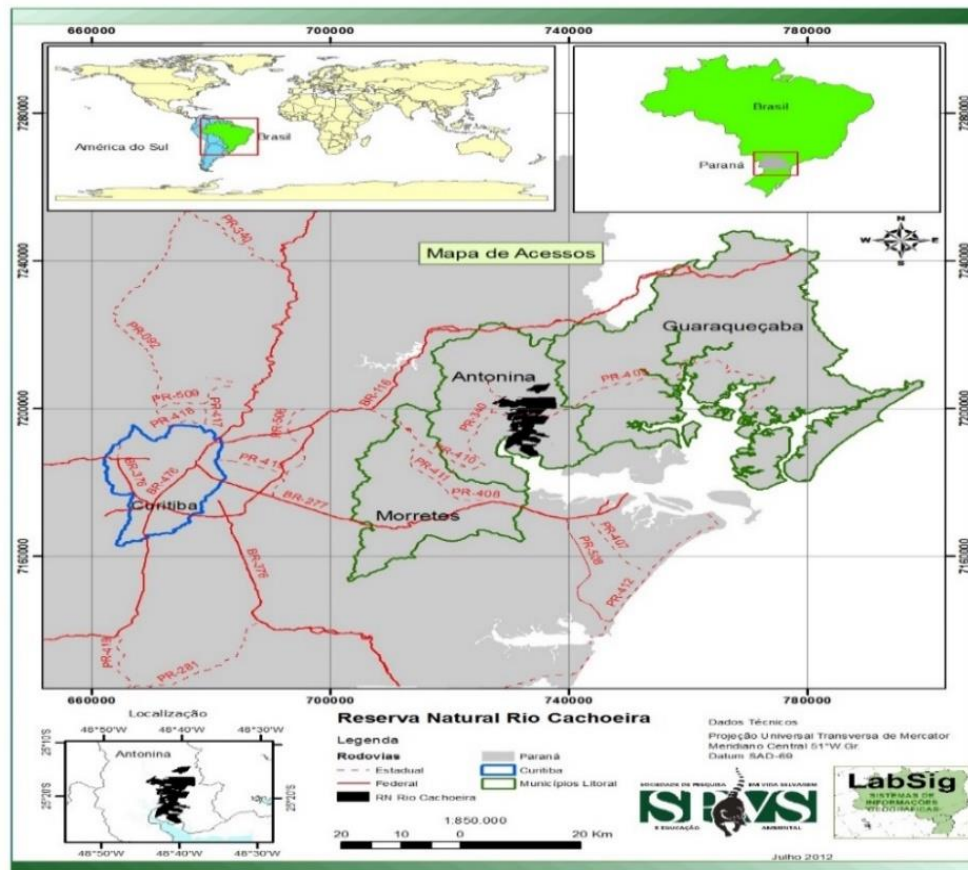


FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS À RNRC, MUNICÍPIO DE ANTONINA, PARANÁ, ADAPTADO DE SPVS.

A RNRC está circundada pela Serra do Mar ao norte e ao leste; ao sul pelo estuário dos rios Cachoeira e Faisqueira; e a oeste por um trecho de planície cruzado pelos rios Cacatu, do Nunes, Xaxim e Curitibaíba, que também encontra o sopé da Serra do Mar. A bacia hidrográfica em que está inserida a RNRC é a da Baía de Antonina, cujo principal rio é o Cachoeira, que drena cerca de 700 km² nos seus 48 km de extensão (SPVS, 2005).

As altitudes dentro da Reserva variam desde o nível do mar, na sua parte meridional, entrando pelos vales dos rios Cachoeira e Faisqueira, até cerca de 520m s.n.m., na sua parte mais setentrional. A parte central e centro-leste da Reserva é composta por morros baixos que não ultrapassam os 200m de altitude, exceto o Morro do Queimado, que tem mais de 300 m. No extremo norte e nordeste da Reserva predominam as cotas acima de 100m até os 500m, enquanto no setor leste, vale do rio Cachoeira, estas altitudes não passam de 20m s.n.m. (MAACK, 1981; ANGULO, 1992)

3.2 Caracterização da vegetação nos sítios em estudo

A Floresta Atlântica, cobertura vegetal da região serrana do estado Paraná, é classificada como Floresta Ombrófila Densa, que se subdivide em formações Submontana, Montana e Altomontana. Na região de planície do litoral, além das Formações Pioneiras com Influência Fluvial (pântanos e várzeas) e com Influência Flúvio-marinha (manguezais), também ocorre a Floresta Ombrófila Densa Aluvial (ao longo dos cursos d'água) e das Terras Baixas, nos terrenos arenosos (abaixo de 20 m de altitude) (RODERJAN et al., 2002).

Além destes tipos de cobertura vegetal, ocorrem, ainda, os diferentes estágios de sucessão secundária e usos atuais do solo, como pastagens e agricultura, derivados do uso da terra antes da aquisição pela SPVS (SPVS, 2005). Segundo o IBGE (2012), a vegetação da RNRC nas áreas do estudo é classificada como “Floresta Ombrófila Densa Submontana”, situada entre 20 e 400 m de altitude. Essa formação florestal está situada numa zona de transição entre o compartimento continental da planície litorânea e a Serra do Mar e as condições edafoclimáticas são favoráveis ao desenvolvimento vegetal, assim possui a maior diversidade e riqueza de espécies dentre as formações florestais da Floresta Ombrófila Densa (RODERJAN et al., 2002).

Parte das áreas de floresta que hoje compõem a RNRC foram suprimidas com o propósito de inserção de cultivos agrícolas e de práticas agropecuárias, o que ocasionou uma degradação ambiental acentuada. Estas áreas, por sua

vez, foram abandonadas (agricultura de pousio) fazendo com que as mesmas entrassem em processo de sucessão secundária. A restauração desses ambientes ocorreu em diferentes períodos, o que condicionou um mosaico de formações florestais em processo de sucessão secundária com diferentes idades e estruturas florísticas (BIANCHIN, 2010).

Para o desenvolvimento deste estudo foram selecionados seis sítios em áreas de formações florestais secundárias (FS) em diferentes estágios de desenvolvimento da sucessão ecológica, denominados de **FS1**; **FS2**; **FS3**; **FS4**; **FS5** e **FS6**. Os sítios FS1 e FS2 têm 100 anos aproximadamente, já os sítios FS3 e FS4 têm entre 60 e 80 anos, o sítio FS5 tem entre 40 e 60 anos e por fim, o sítio FS6 entre 20 e 30 anos (dados não publicados).

Anteriormente ao presente estudo, um projeto da RNRC chamado de Projeto SPVS *Earthwatch HSBC Climate Parthnership*, caracterizou estas áreas em estágios de sucessão: avançado, médio e inicial. Porém uma análise posterior baseada em imagens aéreas de diferentes épocas e na caracterização fitossociológica dos sítios permitiu a atribuição de faixas de idade a estas florestas secundárias.

Cada área de floresta secundária possuía 100 subparcelas de 100 m² cada, totalizando 10.000 m². No Anexo I se encontram os parâmetros fitossociológicos das seis áreas (dados não publicados), calculados a partir de um censo realizado nas áreas em questão entre os anos de 2008 e 2009 e cujo resumo é apresentado na Tabela 1.

O índice de diversidade de espécies de Shannon (H') indica que os sítios FS1 e FS2 (mais velhos) apresentam maior diversidade florística. Além disso, o índice de equabilidade de Pielou (J), mais próximos de 1 nos sítios mais velhos, também indicam que os mesmos apresentam estrutura florística bem desenvolvida, com grande número de espécies em sua composição.

TABELA 1. PARÂMETROS FITOSSOCIOLÓGICOS DOS SEIS SÍTIOS EM ESTUDO

Sítio	Idade (Anos)	Nº de Indivíduos	Área Basal (m².ha⁻¹)	Altura (m)	H'	J	Espécies	IVI espécies (%)
FS1	>100	1711	37	8	4,19	0,88	<i>Psychotria nuda</i>	45
							<i>Hyeronima alchorneoides</i>	29
FS2	>100	1753	37	8	3,89	0,79	<i>Psychotria nuda</i>	22
							<i>Marlierea tomentosa</i>	20
FS3	80-60	1673	35	7	3,49	0,70	<i>Psychotria nuda</i>	30
							<i>Hyeronima alchorneoides</i>	16
FS4	80-60	2094	36	8	3,66	0,74	<i>Psychotria nuda</i>	21
							<i>Hyeronima alchorneoides</i>	18
FS5	60-40	1888	34	9	3,52	0,76	<i>Pera glabrata</i>	34
							<i>Amaioua guianensis</i>	21
FS6	30-20	2191	25	8	2,67	0,62	<i>Myrsine coriacea</i>	58
							<i>Tibouchina pulchra</i>	47

H' - Índice de diversidade de espécies de Shannon; J - Índice de equabilidade de Pielou e IVI – Índice de valor de importância.

3.3 Caracterização geomorfológica e dos solos

No litoral do estado do Paraná ocorrem dois domínios geológicos principais: o das rochas do embasamento basáltico, ou escudo, e o da cobertura sedimentar cenozóica. Tanto as rochas como os sedimentos estão associados às grandes unidades geomórficas da região (ANGULO, 1992).

Do ponto de vista pedológico, é importante ressaltar que o material de origem dos solos nas áreas de serras e morros da RNRC é proveniente de rochas gnáissico-migmatíticas feldspáticas e dioritos, que dão origem a solos autóctones. Nas áreas de pedimentos e colúvios estes materiais de origem se encontram, via de regra, mesclados, dando origem a solos alóctones, cuja composição pode ser bem diversificada em relação às rochas que lhes deram origem. Nas áreas da planície aluvial e de mangues, o material de origem dos solos é constituído de sedimentos e depósitos flúvio-marinhos ou marinhos (SPVS, 2005).

Os solos encontrados na RNRC pertencem às ordens Neossolos, Organossolos, Argissolos e Cambissolos (SPVS, 2013). Nos sítios selecionados para este estudo predomina a ordem dos Cambissolos.

A ordem dos Cambissolos é caracterizada por solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente (Bi) subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, desde que não satisfaçam os requisitos para serem enquadrados em outras ordens. São solos minerais pouco desenvolvidos, ou ainda não totalmente transformados, não hidromórficos, situando-se em ambientes de encostas e sua posição na paisagem, relevo e material de origem determinam o grau de desenvolvimento e a profundidade do *solum* (RACHWAL; CURCIO, 1994). O horizonte Bi tem textura franco-arenosa ou mais argilosa, e o *solum* geralmente apresenta teores uniformes de argila, podendo ocorrer ligeiro decréscimo ou um pequeno incremento de argila do A para o Bi. Em relação à profundidade, os Cambissolos podem ser subdivididos em: rasos, quando a espessura for inferior a 0,5 m; pouco profundos, quando se situam entre 0,5 e 1,0 metros e profundos, com espessura superior a 1,0 metros. Este horizonte pode estar associado aos Latossolos, Argissolos e Neossolos Litólicos (EMBRAPA, 2006).

Nas parcelas das áreas em estudo foi realizada a caracterização química do solo nas camadas superficiais (Tabela 2). Deste modo, foram coletadas 25 amostras no horizonte mineral em cada parcela, em três profundidades, de 0 a 5; 5 a 10 e 10 a 20 centímetros. O solo coletado foi encaminhado para o Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da Universidade Federal do Paraná (Tabela 2). As análises químicas foram feitas seguindo a metodologia analítica descrita por Marques e Motta (2003). Especificamente as determinações de Carbono e Nitrogênio foram feitas em equipamento Analisador CNHS, da marca Elementar, modelo Vario EL III.

TABELA 2. PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO NOS SÍTIOS EM ESTUDO NAS PROFUNDIDADES DE 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm.

SÍTIO	Camada	pH	Al	H+Al	P	C	Ca	Mg	K	Na	T	V	Cu	Mn	Fe	Zn
		CaCl ₂	cmol _c .dm ⁻³		mg.kg ⁻¹	g.dm ⁻³	-----cmol _c .dm ⁻³ -----					%	-----mg.kg ⁻¹ -----			
FS1	0-5 cm	3,6	1,6	9,8	7,6	35,9	0,9	0,8	0,16	0,06	11,9	18	0,8	3,6	11,9	0,2
	5-10 cm	3,5	2,0	10,6	9,4	30,0	0,5	0,6	0,13	0,05	12,9	12	0,8	2,3	12,7	0,2
	10-20 cm	3,5	2,1	10,6	4,0	26,8	0,2	0,4	0,11	0,04	11,5	8	0,9	1,8	13,2	0,1
FS2	0-5 cm	3,5	2,0	10,4	4,1	33,4	0,4	0,5	0,14	0,08	11,5	10	0,9	3,0	8,4	0,2
	5-10 cm	3,6	2,4	10,0	3,1	25,1	0,1	0,2	0,09	0,06	10,5	5	0,7	1,0	10,1	0,1
	10-20 cm	3,6	2,1	8,4	1,9	17,2	0,1	0,1	0,06	0,04	8,7	3	0,6	0,6	10,9	0,1
FS3	0-5 cm	2,8	2,4	13,1	5,5	43,2	0,4	0,4	0,12	0,07	14,1	8	0,4	1,1	10,1	0,2
	5-10 cm	2,9	2,4	11,1	3,9	31,5	0,3	0,2	0,09	0,05	11,8	6	0,4	0,6	10,0	0,2
	10-20 cm	3,0	2,0	8,9	3,0	21,2	0,3	0,1	0,05	0,03	9,4	5	0,3	0,8	11,8	0,1
FS4	0-5 cm	3,6	1,7	11,0	8,7	23,1	1,1	0,6	0,20	0,07	12,9	15	0,8	3,8	8,0	0,3
	5-10 cm	3,6	2,0	11,0	8,2	20,0	0,7	0,4	0,15	0,06	12,3	10	0,8	2,8	8,5	0,2
	10-20 cm	3,6	4,2	10,3	6,1	15,7	0,4	0,2	0,11	0,05	11,1	6	0,8	1,8	7,1	0,1
FS5	0-5 cm	3,2	3,0	15,7	5,3	46,0	0,2	0,3	0,11	0,06	16,3	4	0,2	0,1	10,8	0,2
	5-10 cm	3,3	2,9	13,9	5,2	35,1	0,2	0,2	0,09	0,06	14,4	4	0,2	0,1	11,4	0,1
	10-20 cm	3,4	2,9	12,3	3,9	28,1	0,1	0,1	0,08	0,05	12,7	3	0,2	0,1	13,2	0,1
FS6	0-5 cm	3,4	1,9	13,2	10,9	39,4	0,5	0,6	0,15	0,06	14,5	9	0,7	1,2	15,7	0,2
	5-10 cm	3,4	2,0	11,5	9,1	25,8	0,2	0,2	0,10	0,05	12,2	5	0,5	0,4	15,7	0,1
	10-20 cm	3,5	2,0	10,5	8,1	20,8	0,2	0,1	0,07	0,03	10,9	4	0,4	0,2	13,7	0,1

De modo geral, os solos apresentam pH muito baixo (ou elevada acidez) em todas os sítios; valores de Ca e Mg trocáveis muito baixos e baixos; K_{Mehlich} entre muito baixo (5- 10 e 10-20 cm) e baixo (5-10 cm) e valores de P_{Mehlich} entre médio e baixo de acordo com a profundidade. O teor de C no solo encontra-se muito alto, com exceção da camada 10-20 cm nos sítios FS2 e FS4. O teor de Al trocável encontra-se alto e a saturação por bases (V%) encontra-se baixa em todas as áreas, representando baixa fertilidade (<50%). Os teores dos micronutrientes Cu, Mn e Zn nos sítios foram baixos. Por outro lado, os teores de Fe foram classificados como médios e altos. Essas interpretações seguiram classificação estabelecida pela SCBS (2004).

Os valores altos de carbono no solo parecem explicar os maiores valores de P, K, Ca e Mg nas camadas mais superficiais do solo, que seriam resultado da mineralização da matéria orgânica do solo.

3.4 Caracterização do clima

O tipo climático característico da região da RNRC é o subtropical úmido mesotérmico (Cfa), definido por Köppen, com temperatura média do mês mais frio superior a 18° C; e no mês mais quente superior a 22° C. A precipitação média do mês mais seco fica acima de 60 mm. A região está sujeita a geadas pouco frequentes e há precipitações regulares todos os meses, sem apresentar estação seca definida (SPVS, 2005). A distância da estação meteorológica SAMAE Antonina até a RNRC é de aproximadamente 10 km.

A pluviosidade e a temperatura média do período em que os estudos em campo foram conduzidos (2009-2010 e 2013-2014), assim como os dados históricos, são mostradas nas Figuras 2 e 3.

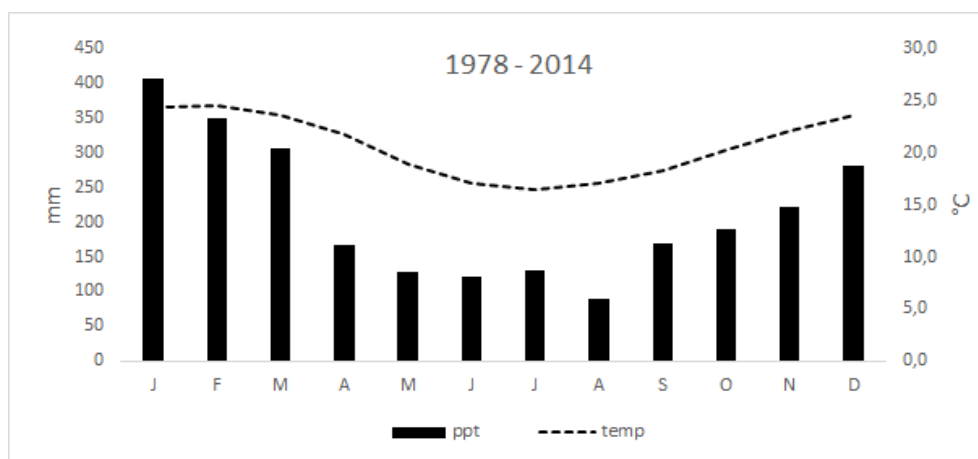


FIGURA 2. PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA - MÉDIAS HISTÓRICAS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE ANTONINA, PR. Dados cedidos pelo SIMEPAR (Adaptado).

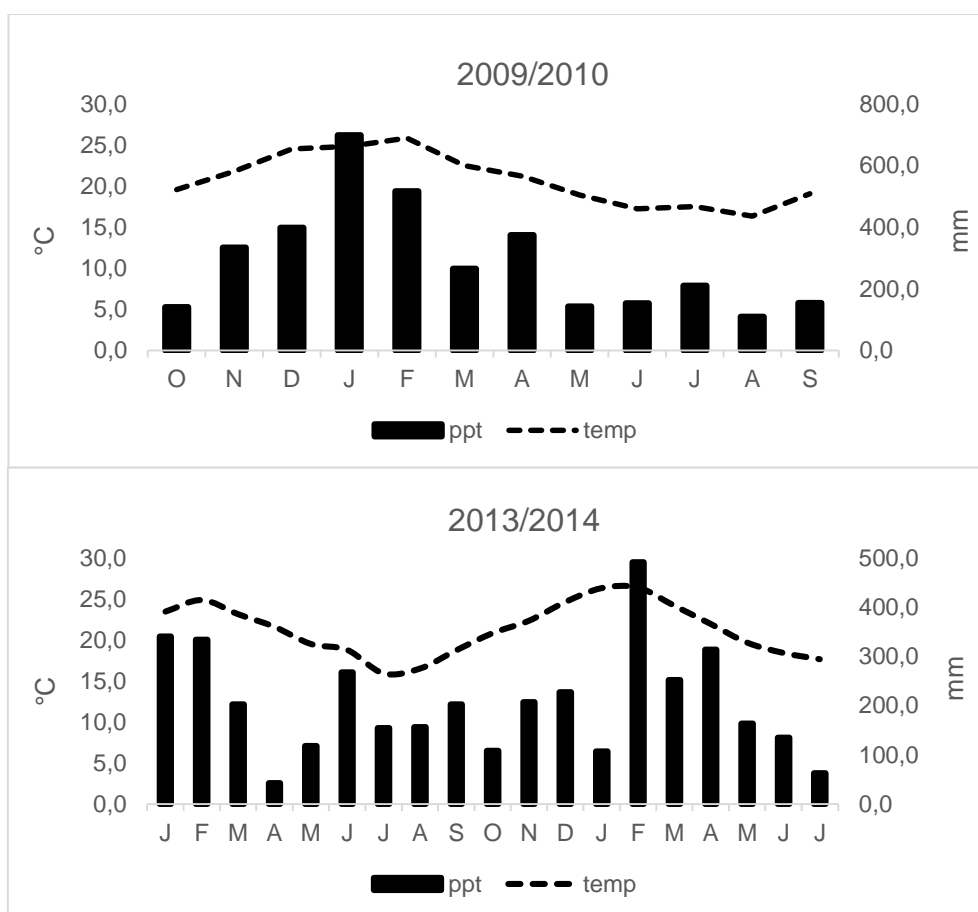


FIGURA 3. PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA, MÉDIAS NOS ANOS DE ESTUDO, DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE ANTONINA, PR. Dados cedidos pelo SIMEPAR.

3.5 Procedimento geral

Para esta pesquisa foram selecionados seis sítios com formações florestais secundárias em diferentes idades, assim denominados: **FS1**; **FS2**; **FS3**; **FS4**; **FS5** e **FS6** de acordo com a ordem cronológica (mais velhos, intermediários e mais novos). Cada área de estágio sucessiona possui 100 subparcelas de 100 m² cada, totalizando 1.000 m².

As coletas da serapilheira depositada foram realizadas mensalmente entre outubro de 2009 e setembro de 2010. Para a serapilheira acumulada, as coletas foram realizadas em intervalos de seis meses, ou seja, em fevereiro/2013, agosto/2013, março/2014 e julho/2014. E por fim, as coletas para o nitrogênio potencialmente mineralizável no solo ocorreram em junho/13, janeiro/2104 e julho/2014.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGULO, R. J. **Geologia da planície costeira do estado do Paraná**. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1992.

BIANCHIN, J. E. **Aporte de fitomassa e nutrientes em florestas secundárias da Mata Atlântica no litoral do Paraná**. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

BOEGER, M. R.; WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C. B. Nutrientes foliares de espécies arbóreas de três estádios sucessionais de Floresta Ombrófila Densa no Sul do Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, v. 19, n.1, p.167-181, 2005.

BORMANN, H.F. & LIKENS, G.E. The nutrient cycles of an ecosystem. **Scientific American**, v 233: 92-101, 1970.

BRAY, J. R.; GORHAM, E. Litter production in forests of the world. *Advances in Ecological Research*, **London**, v. 2, p. 101-157, 1964.

BRASIL. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Manual Técnico da Vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

DICKOW, K. M. C. **Ciclagem de fitomassa e nutrientes em sucessão secundária na Floresta Atlântica, Antonina, PR**. 215f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

DUVIGNEAUD, P. **A síntese ecológica**. Paris: Doin Editora, 1974. 165 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA EM AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INPE. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2000–2005**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008.

GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA. I.G. **Atlantic forest hotspots status: an overview**. In: **Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas**. Carlos Galindo-Leal, Ibsen de Gusmão Câmara (Ed.); traduzido por Edma Reis Lamas. – São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica — Belo Horizonte: Conservação Internacional, pp. 3-11. 2005.

GUARIGUATA, M. R.; OSTERTAG. R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. **Forest Ecology and Management** v 148: 185-206. 2001.

HINKEL, R. **Aspectos da ciclagem de nutrientes de dois estádios sucessionais de Floresta Ombrófila Densa no Parque Municipal da Lagoa do Peri, Ilha de Santa Catarina, SC**. 164f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2ª ed revisada e ampliada. 271p. 2012.

IVANAUSKAS, N. M. **Estudo da vegetação na área de contato entre formações florestais em Gaúcha do Norte - MT**. 2002. 185 f. Tese. Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, Campinas, 2002.

JANZEN, D.H. Herbivores and the number of trees in tropical forests. **American Naturalist** v 104:501-528, 1970.

LEIGH, E.G. Jr. **Tropical Forest Ecology: A view from Barro Colorado Island**. Oxford University Press. 1999.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. 2.ed. Curitiba: BADEP/UFPR/IBPT. 1981.

MARTINS, K. G. **Deposição e decomposição de serapilheira em uma Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas sobre solos hidromórficos na estação ecológica da Ilha do Mel - PR**. 126 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2004.

MARQUES, R.; MOTTA, A.C.V. Análise química do solo para fins de fertilidade. 2003. In: Lima, M.R. (Org.). **Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas**. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, DSEA, p. 81-102

MIRANDA, J. C. **Sucessão ecológica: conceitos, modelos e perspectivas**. SaBios: Rev. Saúde e Biol., v. 4, n. 1, p. 31-37, 2009.

MYERS, N., MITTERMEIER, R. A., MITTERMEIER, C. G., FONSECA, G. A. B., KENT, J. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. Nature, v.403, p.853-858, 2000.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 434p.1988.

PINTO, C. B. **Contribuição de espécies arbóreas para a ciclagem de nutrientes em sucessão vegetal na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas**. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes em florestas do Brasil. In: MARTINS, S. V. (ed.). **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. Viçosa: Editora UFV. p. 175-251, 2012.

PROCTOR, J. Tropical forest litterfall. I. Problems of data comparison In: **Tropical Rain Forest: Ecology and Management**. S.L. Sutton; T.C. Whitmore, A.C. Chadwick (eds.). Special Publications Series of the British Ecological Society nº 2, p. 267-273. 1983.

PROTIL, C. **Contribuição de quatro espécies arbóreas ao ciclo biogeoquímico em Floresta Atlântica na planície litorânea do Paraná**. 127f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

RACHWAL, M.F.G.; CURCIO, G.R. Principais tipos de solos do Estado do Paraná, suas características e distribuição na paisagem. In: **A vegetação natural do estado do Paraná**. IPARDES, 1994.

RICKLEFS, R.E. **A economia da natureza**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996.

RIBEIRO, M.C.; METZGER, J.P.; MARTENSEN, A.C.; PONZONI, F.J.; HIROTA, M.M. The Brazilian Atlantic Forest: How is left, and how is the remaining forest disturbed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v.142, p.1141- 1153, 2009.

RODERJAN, C. V.; KUNIYOSHI, Y. S.; GALVÃO, F.; HATSCHBACH, G. G. As Unidades Fitogeográficas do Estado do Paraná. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, n. 24, p. 75-42, 2002.

ROCHA, A. A. **Deposição de fitomassa e nutrientes, acumulação e decomposição de serapilheira em três tipologias da Floresta Atlântica, Paranaguá, PR**. 113f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SCHEER, M. B. **Ciclagem de nutrientes em um trecho de Floresta Ombrófila Densa aluvial em regeneração, Guaraqueçaba, PR**. 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SCORIZA, R. N.; PEREIRA, M. G.; PEREIRA, G. H. A.; MACHADO, D. L.; SILVA, E. M. R. da. Métodos para coleta e análise de serapilheira aplicados à ciclagem de nutrientes. **Floresta e Ambiente**, v.2, n.2, p.1-18, 2012.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS). Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e de Fertilidade do Solo - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 400 p, 2004.

SPAIN, A.V. Litterfall and the standing crop of litter in three tropical Australian rain forests. **Journal of Ecology**, 72:947-961, 1984.

SPVS - Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem. 2005. **Plano de manejo da Reserva Natural do Rio Cachoeira**. Volume 1, Encartes I, II e III. 310 p.

TOLEDO, L. O.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, C. E. G. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em florestas Secundárias localizadas na região de Pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 9-16, 2002.

VELOSO H.P.; RANGEL-FILHO, A.L.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123p.

WARING, S.A. & BREMNER, J.M. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. **Nature**, 201:951-952, 1964.

WISNIEWSKI, C. Ciclagem de nutrientes em florestas plantadas. In: INOUE, M. T.; LOPES, E. da S.; ARAUJO, A. J. de; LOMBARDI, K. C. (Ed.). **Anais...VIII Semana de Estudos Florestais**. Irati: UNICENTRO, p. 138-160. 2006.

CAPÍTULO I

DEPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA E NUTRIENTES EM SUCESSÃO SECUNDÁRIA NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA DO LITORAL DO PARANÁ

RESUMO

Este estudo teve por finalidade avaliar a deposição da serapilheira e a quantidade de nutrientes restituídos ao solo em sucessão secundária, em Floresta Ombrófila Densa. Foram realizadas coletas mensais de serapilheira depositada, entre outubro de 2009 e setembro de 2010, em seis parcelas de estudo em diferentes idades, sendo FS1 e FS2 com mais de 100 anos, FS3 e FS4 com idade entre 80 e 60 anos, FS5 com idade entre 60 e 40 anos e FS6 com idade entre 30 e 20 anos. A serapilheira foi separada nas frações ramos, órgãos reprodutivos, miscelânea, folhas total (folhas diversas e por folhas de três espécies principais em cada área). Em seguida, foi determinado o peso seco das amostras de serapilheira (total, frações e por espécies), e foi realizada a análise química de C, N, P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Fe, Zn e Al. A produção anual de serapilheira variou entre 4934 e 10130 kg.ha⁻¹. As maiores deposições ocorreram nas estações mais quentes do período (setembro/09 a março/10). A fração folhas foi responsável pela maior porcentagem e pela definição do padrão de deposição. A deposição das folhas por espécies não seguiu a ordem do IVI dos sítios e não foi influenciada pelas variáveis meteorológicas. A quantidade anual de nutrientes e alumínio que retornou ao solo via serapilheira apresentou a seguinte sequência geral: N>Ca>K>Mg>Al>P; e para micronutrientes: Mn>Fe>Zn>Cu. Com relação aos teores de nutrientes nas folhas das espécies estudadas, *Vochysia bifalcata* concentrou mais Al e *Cupania oblongifolia* concentrou mais Mn e Zn independente da idade do sítio. A fração miscelânea foi a que mais contribuiu para o retorno de nutrientes nas áreas mais velhas e a fração folhas mostrou maior contribuição nos demais sítios. A sequência para o aporte total de nutrientes nas áreas em estudo foi: FS1>FS2>FS5>FS6>FS4>FS3 indicando

as florestas mais velhas com maior contribuição ao retorno de nutrientes ao solo.

Palavras chaves: Floresta Atlântica, fitomassa, biogeoquímica florestal, nutrientes.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the amount of litterfall and nutrients returning to the soil on secondary succession of a Brazilian Southern Atlantic Rainforest. Monthly collections were carried out between October 2009 and September 2010 on six study plots with different ages, FS1 and FS2 more than 100 years-old, FS3 and FS4 aged between 80 and 60 years-old, FS5 aged between 60 and 40 years-old, and FS6 aged between 30 and 20 years-old. The litter was separated into the fractions: branches, reproductive organs, mix of small fragments, and leaves (mix of leaves and leaves of three main species of each area). Then it was determined the dry weight of samples (total, and fractions), and the elements C, N, P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Fe, Zn and Al for all samples. The annual litter production varied from 4934 to 10130 kg ha⁻¹. The highest depositions occurred during the warmer season (September/09 to March/10). The leaves accounted for the largest percentage of litterfall and defined the deposition pattern. The deposition by species did not follow the IVI of the sites neither was by meteorological variables. For most of the sites, the decrescent sequence of elements returning to the ground by litterfall was N>Ca>K>Mg>Al>P, and for micronutrients Mn>Fe>Zn>Cu. *Vochysia bifalcata* was the species with the highest Al content on the litterfall, and *Cupania oblongifolia* showed the highest values for Mn and Zn content. The mixt small fractions showed the highest return of total nutrients in older areas and the fraction leaves contributed more for the other sites. The sequence for the total supply of nutrients for the sites was: FS1>FS2>FS5>FS6>FS4>FS3 indicating the old-growth forests with the major nutrients return to the soil.

Key words: Atlantic Forest, biomass, forest biogeochemistry, nutrients.

1. INTRODUÇÃO

As florestas secundárias são aquelas resultantes de um processo natural de regeneração da vegetação em áreas onde no passado ocorreram distúrbios na floresta primária. Em alguns casos, essas áreas foram temporariamente usadas para agricultura ou pastagem e a floresta ressurgiu espontaneamente após o abandono destas atividades. Assim, sucedem mudanças na estrutura e na florística da vegetação, ocasionando alterações na composição das espécies. (MIRANDA, 2012)

A ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais tem sido estudada com o intuito de se obter o conhecimento da dinâmica dos nutrientes, não só para o estabelecimento de práticas de manejo florestal para recuperação de áreas degradadas e manutenção da produtividade de sítios degradados em recuperação, mas também na busca de informações para uma melhor compreensão do funcionamento destes ecossistemas (SOUZA e DAVIDE, 2001).

A ciclagem de fitomassa florestal se dá via produção de serapilheira. Na dinâmica de uma floresta, a serapilheira funciona como um indicador de entradas e saídas de nutrientes e matéria orgânica do sistema florestal, formando a camada mais superficial do solo; composta por folhas, ramos, órgãos reprodutivos e detritos (COSTA et al., 2010).

As variações no padrão de produção de serapilheira são causadas por diversos fatores, entre eles estão o clima, a composição florística, o estágio sucessional, as condições do solo, o gradiente de altitude, bem como a presença e a intensidade dos diversos fatores ambientais como a seca, a geada, a poluição e as queimadas (DOMINGOS et al., 1990; LEITÃO FILHO et al., 1993; BRITEZ, 1994; DELITTI, 1995).

A produção de serapilheira é o meio mais importante para a transferência de nutrientes, especialmente em solos com baixos teores, os quais geralmente são destinados para o cultivo de espécies florestais, e estas se desenvolvem em decorrência da queda de componentes senescentes da parte aérea, que, uma vez decompostos, liberam quantidades significativas de

nutrientes no solo. Isso é, muitas vezes, evidenciado em florestas estabelecidas em áreas contendo solos de baixa fertilidade e incapazes de suportar outras culturas (HAGG, 1985; BRITZ et al., 1992; MELO & RESCK 2002; BALIEIRO et al., 2004; VITAL et al., 2004).

O fluxo dos nutrientes no ecossistema, isto é, a produção e decomposição da serapilheira, com a consequente transferência destes elementos para o ambiente, são primordiais para a caracterização dos padrões de ciclagem (GOLLEY 1983), representando a principal via de retorno de nutrientes e matéria orgânica à superfície do solo (PAGANO e DURIGAN, 2000).

Considerando o processo de sucessão ecológica, a liberação de nutrientes é diferenciada em função das espécies que compõem uma determinada fase de desenvolvimento da floresta (PINTO, 2001). Portanto, à medida que a floresta secundária envelhece, sua estrutura torna-se mais complexa fica distinto o processo de deposição de serapilheira e consequente liberação de nutrientes. Porém nem sempre o aporte de fitomassa, via deposição de serapilheira, se mostra distinto em florestas com idades diferentes (DICKOW, 2010).

Para compreender melhor as variações na ciclagem de nutrientes decorrentes do processo de sucessão secundária na Floresta Atlântica, mais estudos são necessários. A contribuição das diferentes espécies e das diferentes frações da serapilheira, devido às diferenças em composição química, assim como os efeitos sobre a mineralização da matéria orgânica no solo são temas que precisam ser aprofundados. E, neste contexto, os objetivos desse estudo foram:

- a) Avaliar a influência da idade da floresta na deposição e no fracionamento da serapilheira e na concentração e aporte de nutrientes desta serapilheira;
- b) Correlacionar a deposição de serapilheira com algumas variáveis meteorológicas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Nos seis sítios, em áreas de formações florestais secundárias (FS), com diferentes idades (Tabela 1), foram realizadas as coletas de serapilheira depositada utilizando-se coletores suspensos, feito de PVC, com 1 m² de área e tela de nylon de 2 mm, colocados sistematicamente no centro de 25 subparcelas.

O material coletado foi acondicionado em sacos plásticos sendo identificado e posteriormente processado no Laboratório de Biogeoquímica, da Universidade Federal do Paraná – UFPR, onde foi secado primeiramente ao ar livre, transferido para sacos de papel, secado novamente em estufa de circulação forçada de ar, a $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 72. Posteriormente, a serapilheira foi triada nas seguintes frações: Fração folhas; Fração espécies; Fração ramos (galhos inferiores a 2 mm de diâmetro); Fração órgãos reprodutivos (flores, frutos e sementes) e Fração miscelânea.

Na fração espécies, o material foi separado de acordo com a espécie, e aquelas não identificadas foram classificadas como fração folhas. Na fração miscelânea foi incluído todo o material de origem animal e/ou vegetal que sobrou da triagem e não se enquadrou nas frações anteriores. Após triagem das frações, as suas amostras foram novamente acondicionadas em sacos de papel, secadas em estufa a $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas e pesadas em balança de precisão, para obtenção da massa seca das diferentes frações.

Na seleção da fração espécies, em uma primeira triagem, foi selecionado um número grande de espécies, que foram pesadas separadamente. Este procedimento seguiu os mesmos critérios estabelecidos por Bianchin (2013), dos quais, o primeiro critério estipulado foi que as espécies deveriam depositar material foliar todos os meses do ano, em quantidade suficiente para as análises químicas. O segundo critério foi que somente as espécies com deposição igual ou superior a 120 g de material foliar por ano seriam selecionadas. As espécies selecionadas atenderam ambos requisitos, sendo que as demais foram agrupadas na fração folhas diversas. Neste estudo, para a caracterização química da Fração espécies, foi

estabelecido que seriam eleitas apenas as 3 espécies com os maiores valores de deposição de fitomassa foliar.

No procedimento metodológico adotado para compor as repetições das análises químicas das frações da serapilheira, foram utilizadas amostras compostas por estação do ano, sendo cada estação representada por 3 meses (out.09 + nov.09 + dez.09 = primavera; jan.10 + fev.10 + mar.10 = verão; abr.10 + mai.10 + jun.10 = outono; jul.10 + ago.10 + set.10 = inverno). O material depositado em cada mês foi dividido em três partes e cada um destes terços foi usado para compor uma repetição. Assim, cada estação do ano foi representada por 3 repetições agrupadas de meses distintos. A utilização do mês da estação como simples repetição seria prejudicial pois poderia gerar desvios padrão decorrentes de variações mensais na composição química da serapilheira, o que prejudicaria a sensibilidade da comparação das variações estacionais.

Para as análises químicas, as amostras foram homogeneizadas e moídas em moinho de facas. Foram determinados os teores de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), Alumínio (Al), ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn).

Para a determinação dos teores de C e N e relação C/N foram pesados entre 15 e 20 mg do material finamente moído em moinho de bola FRITSCH e incinerado em analisador CHNOS, marca ELEMENTAR, modelo Vario EL III. Para a determinação dos teores de macro e micronutrientes, além do alumínio, utilizou-se a metodologia da digestão seca, descrita por Martins e Reissmann (2007). Neste método, 1,0 g de amostra de serapilheira, já moída, é queimada na mufla a 500 °C, em cadinhos de porcelana, por aproximadamente 3 horas e requeimada por igual período, após a adição de 3 gotas de HCl 3 mol.L⁻¹. Logo após o resfriamento das amostras são acrescentados 10 mL de HCl em cada cadinho, sobre chapa de aquecimento, para desgrudar todo o material aderente no fundo do cadinho. Em seguida, o volume de cada cadinho foi filtrado para balão volumétrico de 100 mL e completado o volume do balão com água deionizada. Após a filtragem, as amostras foram identificadas e armazenadas em potes plásticos.

As determinações dos demais elementos foram realizadas por espectrometria de emissão atômica com plasma induzido em equipamento Varian 720 ES IIC “Optical Emission Spectrometer”.

A análise estatística foi realizada nos softwares Assistat® e Statistica®. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado. Inicialmente os dados foram submetidos ao teste de homogeneidade das variâncias dos tratamentos utilizando-se o teste de Bartlett. Posteriormente, verificada a normalidade, os dados foram submetidos à ANOVA e, em seguida, as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, com probabilidade de 95%.

Para a avaliação do total de serapilheira depositada e totais em cada fração foi considerado cada mês como repetição da estação, ou seja, três repetições. Na avaliação da biomassa depositada em cada fração, nos diferentes, as estações do ano (Primavera, Verão, Outono e Inverno) foram consideradas como repetições, ou seja, quatro repetições.

Para verificar a influência das variáveis meteorológicas na deposição de serapilheira em cada área e por folhas das espécies, foi realizado o teste de correlação de *Pearson* entre os fatores (correlação linear simples). Para testar a significância dos coeficientes de correlação, foi aplicado o teste t de Student, à probabilidade $p = 0,05$ e $p = 0,01$.

Para avaliar a diferença dos teores de macronutrientes (P, K, Ca e Mg) e Al, e micronutrientes (Cu, Mn, Fe e Zn) entre as frações e estações do ano, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado e 3 repetições em cada tratamento. Para as espécies foram considerados os meses do ano como repetição. Para o teor de C e N, bem como a relação C/N, as frações e espécies foram comparadas entre si usando como repetições as estações do ano.

Ainda, a quantidade de nutrientes depositada por meio da serapilheira (aporte de nutrientes) foi obtida por meio da multiplicação dos valores dos teores pela quantidade de fitomassa depositada em cada área.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Deposição da serapilheira

3.1.1 Produção anual de serapilheira

A produção anual de serapilheira foi variável entre as estações do ano, mas mostrou-se continua ao longo do ano em todos os sítios estudados (Figura 4).

Nas áreas FS1 e FS2, a produção anual foi de 7372 kg.ha⁻¹ e de 9059 kg.ha⁻¹, respectivamente. Já nas formações FS3 os valores foram de 6868 kg.ha⁻¹ e 4934 kg.ha⁻¹ na FS4. E por fim, a produção anual foi de 10130 e 6790 kg.ha⁻¹ em FS5 e FS6 respectivamente. Ou seja, não se identifica uma influência nítida da idade da floresta sobre o total de serapilheira depositada.

Nesse estudo, o maior pico de deposição foi observado no mês de fevereiro/10 pela FS5 (2673 kg.ha⁻¹) e o menor pico no mês de junho/10 pela FS4 (57 kg.ha⁻¹). Nos sítios mais velhos os maiores valores foram observados no mês de dezembro/09 para a FS1 com 1727 kg.ha⁻¹, e janeiro/10 com 1041 kg.ha⁻¹ para FS2. Nos sítios em idade intermediária, os maiores valores foram observados no mês de novembro, com 1054 e 1281 kg.ha⁻¹, em FS3 e FS4 respectivamente. E nos sítios mais jovens, os maiores valores foram observados nos meses de janeiro e fevereiro de 2010 com 1041 e 2643 kg.ha⁻¹ em FS5 e FS6 respectivamente. O pico discrepante em FS5 (Figura 4), no mês de fevereiro, pode ter sido causado por um evento climático atípico e localizado, como uma chuva intensa ou uma ventania, fato de ocorrência frequente nos meses de verão, nesta região.

A Figura 4 mostra o comportamento da deposição anual dos sítios em estudo. Entre o início da estação outono e o início da estação primavera foi verificado o mesmo padrão de deposição em todos os sítios. A maior variação foi no período do verão onde a deposição de FS5 e FS4 foi maior que os totais depositados mensalmente nessa estação pelas demais áreas.

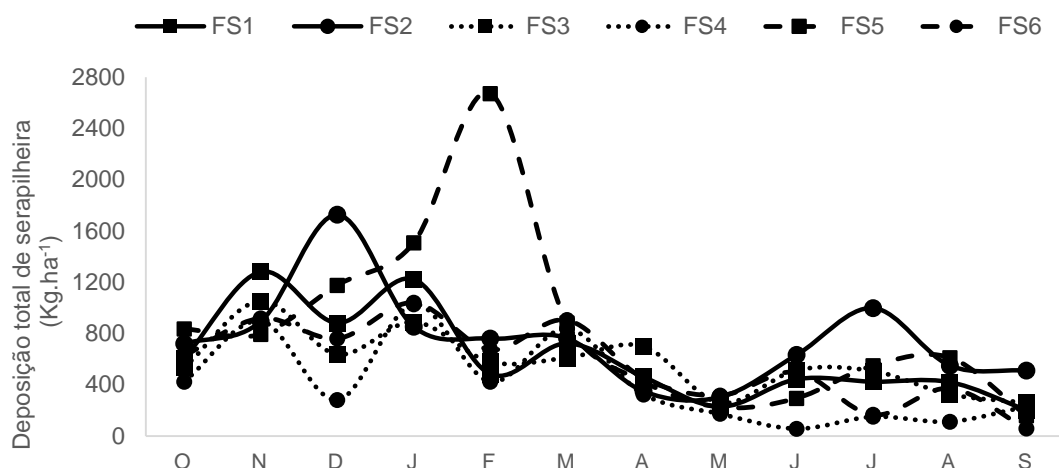


FIGURA 4. VARIAÇÃO MENSAL DA DEPOSIÇÃO TOTAL DE SERAPILHEIRA EM SEIS SÍTIOS EM FORMAÇÕES SECUNDÁRIAS DA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR NOS ANOS DE 2009 A 2010.

A Tabela 3 apresenta a produção total de cada área por estação do ano. É possível notar que a maior taxa de deposição ocorreu no período mais quente e chuvoso (verão e primavera), sendo estatisticamente superior às estações outono e inverno.

TABELA 3. PRODUÇÃO TOTAL E MÉDIA (Kg.ha⁻¹) DE SERAPILHEIRA POR ESTAÇÃO DO ANO EM SEIS SÍTIOS EM FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

PRODUÇÃO TOTAL DE SERAPILHEIRA (kg.ha ⁻¹)								
Estação do ano	SÍTIOS						TOTAL	MÉDIA
	FS1	FS2	FS3	FS4	FS5	FS6		
Primavera	2767 (922)	3342 (1114)	2225 (742)	1600 (533)	2806 (935)	2307 (769)	15047	836 a ¹
Verão	2447 (816)	2376 (792)	2078 (693)	2289 (763)	5062 (1687)	2620 (873)	16852	936 a
Outono	1132 (377)	1284 (428)	1472 (491)	554 (185)	943 (314)	1267 (422)	6652	370 b
Inverno	1046 (349)	2059 (686)	1093 (364)	491 (164)	1319 (440)	596 (199)	6605	367 b
TOTAL	7392	9061	6868	4934	10130	6790		

¹Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As diferenças entre os sítios não mostraram correlação com a idade da floresta, o que implica que a idade não foi o melhor fator para explicar estas diferenças, podendo ser atribuída a outros parâmetros de estrutura floresta. Dickow et al., 2012, encontraram um comportamento aleatório de deposição da serapilheira entre os sítios em diferentes estágios de sucessão em virtude das variações climáticas num período de três anos em contraposição com às diferenças da vegetação. A afirmação de Silva e Britez (2005) também pode ser aplicada, pois as variações ambientais podem também influenciar na deposição de serapilheira. PROCTOR (1983) observou um grande número de estudos de produção de serapilheira em florestas tropicais e concluiu que não existe uma relação simples entre produção de serapilheira e pluviosidade anual. VITOUSEK (1984), porém, concluiu que somente pluviosidade abaixo de 2000 milímetros afeta a produção total de serapilheira.

A tendência de maior deposição nas estações mais quentes e chuvosas, especificamente em formações de Floresta Ombrófila Densa, pode estar ligada diretamente a condições meteorológicas por ser uma estratégia evolutiva das plantas, no sentido de renovar suas folhas no período mais favorável ao crescimento, contribuindo assim para o retorno de nutrientes ao solo e para a sua disponibilização às plantas em crescimento.

A grande abundância de espécies pioneiras encontradas em áreas em mais jovens, é o principal fator para a maior produção de serapilheira (LEITÃO-FILHO et al. 1993; OLIVEIRA & NETO 1999). Entretanto, embora espécies pioneiras apresentem altos padrões de produtividade, a abundância dessas espécies em vegetações em estágio inicial de sucessão ecológica parece não constituir o principal fator determinante de altas taxas de produtividade, podendo ser menos importantes que o tamanho e o porte do dossel na determinação da produção total da serapilheira (SONGWE et al. 1988).

Os valores totais deste estudo são bem próximos dos resultados encontrados por Bianchin (2012) em outros sítios na mesma reserva em Antonina, porém são superiores aos valores encontrados por Dickow (2010) também na mesma reserva. Uma análise comparativa mais aprofundada dos diferentes trabalhos precisa ser realizada para melhor compreender as

diferenças observadas, mas certamente fatores climáticos e de estrutura florestal devem ser responsáveis por estas diferenças.

Existe uma gama significativa de trabalhos na literatura que abordam a deposição de serapilheira em florestas secundárias de diferentes fitofisionomias no Brasil (Tabela 4). Os resultados indicam variações nos totais depositados e estas variações são decorrentes de diferentes fatores; de natureza climática; da idade e estrutura das diferentes florestas e da qualidade do solo, entre outros fatores.

Em florestas tropicais, a quantidade de serapilheira depositada sobre o solo, em geral, varia de 4 a 25 $\text{Mg.ha}^{-1}\text{.ano}^{-1}$ (BRAY & GORHAM, 1964; GOLLEY et al., 1978; PROCTOR, 1983; BROWN & LUGO, 1990; HAAG et al., 1985, 1993; BRITEZ, 1994; GAMA-RODRIGUES BARROS, 2002; PINTO E MARQUES, 2003, DICKOW, 2010, BIANCHIN, 2012). Especificamente na Floresta Ombrófila Densa, os estudos já realizados estimaram quantidades variando de 3 a 14 $\text{Mg.ha}^{-1}\text{.ano}^{-1}$ (MARTINS, 2004; PIRES et al., 2006; ROCHA, 2006; SCHER 2006; DICKOW, 2010; BIANCHIN, 2012).

TABELA 4. VALORES ANUAIS DE DEPOSIÇÃO DE FITOMASSA EM FLORESTAS SECUNDÁRAS EM ALGUMAS FITOFISIONOMIAS BRASILEIRAS.

FITOFISIONOMIA	LOCAL	ESTÁGIO SUCESSIONAL	SOLO	CLIMA	DEPOSIÇÃO TOTAL (Mg.ha.ano ⁻¹)	REFERÊNCIA
RESTINGA	ILHA DO MEL, PR	-	Espodossolo	Af tropical super umido	5,1	PIRES et al., (2006)
RESTINGA	ILHA DO MARAMBAIA, RJ	-	Neossolo	Aw tropical chuvoso	7,6	PEREIRA et al., (2012)
FOD	ILHA DO MEL, PR	-	Espodossolo	Af tropical super umido	7,0	MARTINS (2004)
FOD Terras Baixas	PARANAGUÁ, PR	Avançada	Espodossolo	Af tropical super umido	5,3	ROCHA (2006)
		Média			8,1	
		Inicial			6,9	
FOD Aluvial	GUARAQUEÇABA, PR	Mais desenvolvida	Neossolo	Cfa umido	6,4	SCHER (2006)
		Menos desenvolvida	Cambissolo		3	
FOD Submontana	ANTONINA, PR	Avançada	Cambissolo e Argissolo	Cfa umido mesotermico	5,2	DICKOW (2010)
		Média			5,4	
		Inicial			5,3	
FOD Submontana	ANTONINA, PR	Mais desenvolvida	Cambissolo e Argissolo	Cfa umido mesotermico	7,7	BIANCHIN (2013)
		Intermediária			7,1	
		Menos desenvolvida			8,1	
FOD Submontana	ANTONINA, PR	FS1	Cambissolo e Argissolo	Cfa umido mesotermico	7,1	ESTE ESTUDO (2015)
		FS2			9,1	
		FS3			6,9	
		FS4			4,9	
		FS5			10,1	
		FS6			6,8	
FOD Montana	MIGUEL PEREIRA, RJ	Inicial		Am subtropical úmido	13,8	ALMEIDA (2006)
		Avançada			12,4	
FOM Montana	SÃO JOÃO DO TRIUNFO, PR	Avançada	Cambissolo, Latossolo	Cfa subtropical umido	7,7	FIGUEIREDO FILHO et al., (2003)
FESD	VIÇOSA, MG	Inicial	-	Cwb mesotermico	6,3	PINTO et al., (2008)
		Avançada			8,2	
FESD	PINHEIRAL, RJ	Avançada	Cambissolo	Cwa temperado e Am tropical chuvoso	10,9	MENEZES et al., (2010)
		Média			7,5	
		Inicial			6,6	

FOD = Floresta Ombrófila Densa; FMSM = Floresta Ombrófila Mista; FESD = Floresta Estacional Semidecidual.

3.1.2 Frações da serapilheira produzida

Com relação à produção da serapilheira em frações, pôde-se observar que a fração folhas foi responsável pela maior quantidade de deposição em todas as áreas em estudo (Tabelas 5, 6 e 7).

TABELA 5. FITOMASSA DEPOSITADA POR FRAÇÕES E ESPÉCIES EM ÁREAS DE FLORESTA SECUNDÁRIA EM SÍTIOS MAIS VELHOS NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

FRAÇÕES	Deposição	Contribuição do Total	FRAÇÕES	Deposição	Contribuição do Total
FS1	kg.ha ⁻¹	% do total	FS2	kg.ha ⁻¹	% do total
Ramos	1222	12,8	Ramos	603,0	6,3
Órgãos Reprodutivos	243,8	3,3	Órgãos Reprodutivos	94,3	1,0
Miscelânea	1290,5	17,5	Miscelânea	2315,1	24,2
Folhas Total	4616,5	63	Folhas Total	6534,7	68
Folhas Diversas	3464,7	47,0	Folhas Diversas	5009,0	52,5
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	306,9	4,2	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	486,8	5,1
<i>Alchornea</i> sp	243,8	3,3	<i>Alchornea</i> sp	247,9	2,6
<i>Slonea guianensis</i>	194,0	2,6	<i>Quiina glaziovii</i>	180,3	1,9
<i>Virola bicuhyla</i>	110,2	1,5	<i>Slonea guianensis</i>	169,4	1,8
<i>Cupania oblongifolia</i>	108,5	1,5	<i>Brosimum lactescens</i>	101,1	1,1
<i>Ocotea catharinensis</i>	84,5	1,1	<i>Ocotea catharinensis</i>	96,2	1,0
<i>Myrcia pubytela</i>	70,0	0,9	<i>Virola bicuhyla</i>	91,7	1,0
<i>Psychotria nuda</i>	33,8	0,5	<i>Marlierea</i> sp	87,6	0,9
			<i>Psychotria nuda</i>	64,6	0,7
TOTAL	7372,7	100,0	TOTAL	9547,1	100,0

TABELA 6. FITOMASSA DEPOSITADA POR FRAÇÕES E ESPÉCIES EM ÁREAS DE FLORESTA SECUNDÁRIA EM SÍTIOS INTERMEDIÁRIOS NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

FRAÇÕES	Deposição	Contribuição do Total	FRAÇÕES	Deposição	Contribuição do Total
FS3	kg.ha ⁻¹	% do total	FS4	kg.ha ⁻¹	% do total
Ramos	1177	17,1	Ramos	673,0	13,6
Órgãos Reprodutivos	58	0,8	Órgãos Reprodutivos	372,1	7,5
Miscelânea	1275	18,6	Miscelânea	599,2	12,1
Folhas Total	4357,9	63	Folhas Total	3289,7	67
Folhas Diversas	2799	40,8	Folhas Diversas	1969,7	39,9
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	1146	16,7	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	433,6	8,8
<i>Virola bichuhylla</i>	195	2,8	<i>Vochysia bifalcata</i>	341,2	6,9
<i>Cupania oblongifolia</i>	61	0,9	<i>Slonea guianensis</i>	176,8	3,6
<i>Vochysia bifalcata</i>	43	0,6	<i>Matayba guianensis</i>	148,1	3,0
<i>Psychotria nuda</i>	43	0,6	<i>Cupania oblongifolia</i>	99,9	2,0
<i>Myrcia pubytela</i>	37	0,5	<i>Casearia obliqua</i>	120,4	2,4
<i>Slonea guianensis</i>	34	0,5			
TOTAL	6868,0	100,0	TOTAL	4934,0	100,0

TABELA 7. FITOMASSA DEPOSITADA POR FRAÇÕES E ESPÉCIES EM ÁREAS DE FLORESTA SECUNDÁRIA EM SÍTIOS MAIS JOVENS NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

FRAÇÕES	Deposição	Contribuição do Total	FRAÇÕES	Deposição	Contribuição do Total
FS5	kg.ha ⁻¹	% do total	FS6	kg.ha ⁻¹	% do total
Ramos	1256,0	11,8	Ramos	969,0	14,3
Órgãos Reprodutivos	373,1	3,5	Órgãos Reprodutivos	659,6	9,7
Miscelânea	1178,4	11,1	Miscelânea	833,7	12,3
Folhas Total	7793,5	73%	Folhas Total	4328,4	64%
Folhas Diversas	6091,2	57,5	Folhas Diversas	1766,1	26,0
<i>Vochysia bifalcata</i>	470,9	4,4	<i>Rapanea ferruginea</i>	787,6	11,6
<i>Amaiona guianensis</i>	374,7	3,5	<i>Tibouchina pulchra</i>	743,8	11,0
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	227,8	2,1	<i>Miconia cinerascens</i>	499,9	7,4
<i>Matayba guianensis</i>	224,2	2,1	<i>Alchornea</i> sp	212,4	3,1
<i>Myrcia pubytela</i>	167,1	1,6	<i>Miconia cinnanomifolia</i>	193,9	2,9
<i>Pera glabrata</i>	86,1	0,8	<i>Casearia obliqua</i>	124,7	1,8
<i>Slonea guianensis</i>	76,7	0,7			
<i>Alchornea</i> sp	74,7	0,7			
TOTAL	10601,0	100,0	TOTAL	6790,7	100,0

Os valores percentuais da fração folhas estão de acordo com os valores estabelecidos por O' Neill e De Angelis (1980) com valores próximos a 71% para florestas tropicais. Pereira et al. (2008), em um fragmento de Floresta Atlântica em uma encosta da Ilha da Marambaia, RJ, verificaram que a fração folha foi a que mais contribuiu no aporte de serapilheira e representou 66% do total aportado. Dickow (2010) e Bianchin (2013) em formações secundárias inicial, média e avançada da Floresta Atlântica do litoral paranaense, ressaltaram que as folhas foram responsáveis por 77, 75 e 68% e 74, 67 e 66% da deposição total de serapilheira, respectivamente para as formações.

Com o avanço dos estágios sucessionais, ou seja, seu crescente desenvolvimento florístico e fitossociológico ocorre à mudança da estrutura florística da vegetação com a participação individual das espécies na

quantidade total de serapilheira tornando-se mais homogênea, com um maior número de espécies contribuindo, porém em menores quantidades.

A maior porcentagem de folhas depositadas nos sítios com idade intermediária e jovem pode ser justificado, em parte, pelo crescimento mais acelerado da vegetação, o qual necessita de uma alta taxa fotossintética, conseguida por meio de uma grande biomassa de folhas que são rapidamente substituídas. Todavia, a maior proporção de folhas nas florestas nestes estágios, comparativamente às florestas mais avançadas, reflete a estrutura da vegetação. Nas florestas mais novas, o tipo de material que cai das árvores é principalmente de natureza foliar devido à própria estrutura das plantas. À medida que a floresta envelhece, além da renovação das folhas, outros materiais (cascas, ramos de maior dimensão, epífitas) também passam a cair nos coletores, sendo que boa parte deste material não se encontrava presente nas florestas mais jovens, o que explicaria a redução na proporção de folhas (LUIZÃO e SCHUBART, 1986).

A Tabela 8 mostra a deposição total e média por frações em cada um dos sítios. Através desta análise pode-se observar que a fração folhas foi responsável pela maior deposição, seguida de miscelânea e ramos, estatisticamente iguais, e de órgãos reprodutivos, que foi inferior.

Neste estudo, a fração folhas total foi determinante para a elevação da produção total de serapilheira evidenciando que a grande diversidade de espécies e a própria dinâmica de sucessão intervirem significativamente para a elevação da serapilheira depositada nas determinadas idades.

TABELA 8. FITOMASSA DEPOSITADA POR FRAÇÕES EM SEIS SÍTIOS EM FLORESTA SECUNDÁRIA NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

Deposição da serapilheira (kg.ha ⁻¹)								
FRAÇÕES	FS1	FS2	FS3	FS4	FS5	FS6	TOTAL	MÉDIA
Folhas Total	4616,5	6434,7	4357,9	3289,7	7793,5	4328,4	30920,5	5153 a ¹
Folhas Diversas	3464,7	6091,2	2799,4	1969,7	6091,2	1766,1	21100,0	3513 b
Miscelânea	2315,1	1275,2	1290,5	599,2	1178,4	833,7	7492,1	1265 c
Ramos	602,7	1177,2	1221,7	673,1	1255,6	969,5	5899,9	1083 c
Órgãos Reprodutivos	94,3	58,1	243,8	372,1	373,1	659,6	1801,1	300 d
TOTAL	6220,6	8021,0	5309,9	3614,1	8898,3	4229,0		

¹Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O padrão desenvolvido pela fração folhas total e diversas foi o mesmo observado na serapilheira total corroborando que a fração folhas contribui diretamente no total produzido de serapilheira nos estágios sucessionais. Entretanto, há uma tendência de redução no percentual de folhas com o avanço da idade no estágio sucessional.

A dinâmica da floresta pode interferir na deposição da fração ramos. O fechamento do dossel em florestas mais maduras ocasiona a redução da luminosidade nos estratos inferiores das florestas. Esta redução faz com o que os ramos mais finos sequem e caiam pela falta de luz gerando um aumento na deposição. Além disso, as variáveis climáticas podem interferir nos valores de deposição tanto nas estações mais favoráveis (primavera e verão) quanto nas desfavoráveis (outono e inverno).

A fração miscelânea é composta por uma mistura de materiais e, dependendo do tipo e da estrutura da mesma, pode ocasionar menor ou maior peso. No geral, a maior deposição ocorreu em épocas quentes e chuvosas; logo, época em que a fragmentação da serapilheira é favorecida pelo calor e umidade. A estrutura do material, a presença de galhos mais finos quebrados, órgãos reprodutivos não distinguíveis, além do próprio manuseio do material

vindo do campo para o laboratório podem ter contribuído para essa ligeira elevação em relação às demais estações. As comparações com outros resultados para a fração miscelânea devem ser cuidadosas, pois há grande variação nos métodos de amostragem e de triagem das frações, além das grandes variações naturais em cada área de estudo.

Nas estações mais quentes, primavera e verão, foram observadas as maiores quantidades depositadas da fração órgãos reprodutivos. Esta deposição pode ser dependente da estratégia de dispersão adotada pela espécie para sua reprodução e não estar em função das variações do microclima. Como os valores de produção de material reprodutivo em um mesmo tipo de floresta podem ser muito variáveis ao longo de um ano ou um período, ou involuntariamente das variações para os sítios, esta fração pode estar dependendo das condições abióticas locais, da composição florística e da demografia de cada espécie (Diniz e Pagano, 1997).

A análise de correlação de *Pearson* entre as variáveis meteorológicas do período de estudo e a deposição total de serapilheira e por frações nas seis áreas de floresta secundária pode ser vista na Tabela 9.

De uma maneira geral, a deposição de serapilheira correlacionou-se positivamente com precipitação e temperatura (máxima, média e mínima); e para alguns sítios e frações, negativamente com umidade relativa do ar.

A deposição mensal total correlacionou-se positivamente com precipitação e temperatura média exceto na FS4. Estes dados estão de acordo com vários estudos em FOD no litoral paranaense (MARTINS, 2004; PIRES et al., 2006; ROCHA, 2006; SCHER 2006; DICKOW, 2010; BIANCHIN, 2012), em áreas de florestas secundárias. Assim, pode-se concluir que essas variáveis contribuem para a maior deposição, uma vez que os picos ocorrem no verão, período em que houveram as maiores deposições.

Nas frações, em cada idade, não houve um padrão de correlação com as variáveis meteorológicas.

TABELA 9. CORRELAÇÃO ENTRE AS MÉDIAS MENSAIS DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS COM A DEPOSIÇÃO EM SEIS SÍTIOS EM FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA, EM ANTONINA, PR.

SÍTIO		ST	FT	G	MI	OR
FS1	Precip.	0,68*	0,58*	0,42	0,31	0,05
	TMáx	0,55	0,38	0,39	0,41	-0,06
	TMéd	0,59*	0,40	0,43	0,46	-0,01
	T Mín	0,60*	0,41	0,46	0,48	0,01
	UR	-0,53	-0,40	0,18	-0,18	-0,57
FS2	Precip.	0,64*	0,49	0,79*	0,79*	0,13
	TMáx	0,55	0,37	0,73**	0,51	0,19
	TMéd	0,58*	0,41	0,73**	0,49	0,20
	T Mín	0,61*	0,44	0,74**	0,52	0,21
	UR	-0,62**	-0,76**	-0,50	0,13	-0,83**
FS3	Precip.	0,65*	0,48	0,74**	0,65*	0,64*
	TMáx	0,57	0,40	0,72**	0,61*	0,57
	TMéd	0,64*	0,51	0,78**	0,70*	0,57
	T Mín	0,69*	0,57	0,82**	0,74**	0,59*
	UR	-0,48	-0,50	-0,19	-0,30	-0,38
FS4	Precip.	0,36	0,38	0,43	0,29	-0,29
	TMáx	0,46	0,37	0,51	0,47	-0,21
	TMéd	0,47	0,38	0,48	0,48	-0,14
	T Mín	0,47	0,39	0,46	0,46	-0,11
	UR	-0,48	-0,46	-0,18	-0,60*	-0,24
FS5	Precip.	0,73**	0,70*	0,34	0,67*	0,25
	TMáx	0,84**	0,82**	0,43	0,73**	0,40
	TMéd	0,79**	0,74**	0,47	0,75**	0,42
	T Mín	0,77**	0,71**	0,48	0,76**	0,42
	UR	-0,23	-0,16	-0,10	-0,26	-0,59*
FS6	Precip.	0,67*	0,54	0,62*	0,74**	0,85**
	TMáx	0,69*	0,54	0,60*	0,62*	0,84**
	TMéd	0,72**	0,61*	0,62*	0,57	0,81**
	T Mín	0,73**	0,64*	0,64*	0,58*	0,79*
	UR	-0,59*	-0,68*	-0,48	-0,02	-0,03

Precip. – Precipitação (mm), TMáx, TMéd e Tmín – Temperatura máxima, média e mínima (°C), UR – Umidade relativa do ar (%), ST- Serapilheira total mensal, FTD- Folhas Total, G- Galhos, MI- Miscelânea e OR – Órgãos Reprodutivos; *Significativo a 5% de probabilidade, **Significativo a 1% de probabilidade.

Em síntese, as correlações mais significativas ocorreram com precipitação e temperatura, de forma positiva. Estes resultados sugerem que estas variáveis meteorológicas atuam de forma positiva na deposição de serapilheira. A forte correlação em FS6, das variáveis climáticas com a fração órgãos reprodutivos

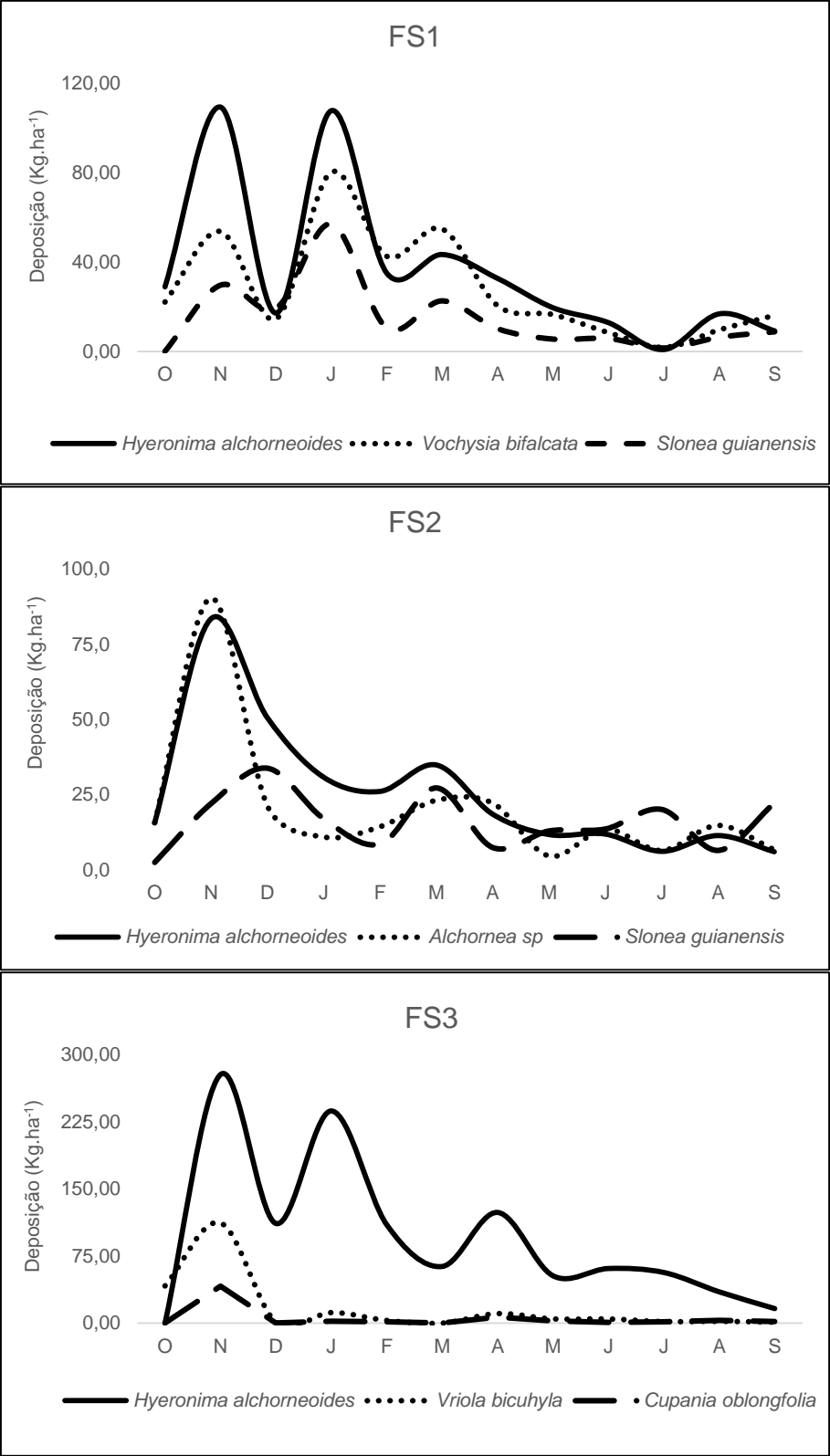
(> 0,8) pode indicar uma estabilidade fenológica das espécies neste sítio onde as maiores produções ocorreram na época mais quente e úmida do ano.

Alguns estudos apresentam discrepância com relação à influência das variáveis meteorológicas com a deposição de serapilheira em áreas de florestas naturais evidenciando que as determinandas variáveis climáticas devem avaliadas isoladamente em cada área estudada.

Cunha et al. (2000), em áreas da Mata Atlântica Montana no Rio de Janeiro, verificaram que houve um aumento significativo (três vezes maior) na estação chuvosa em relação à estação seca. Bianchin (2013) e Dickow et al., (2012) observaram, em áreas de Floresta Ombrófila Densa em estágio secundário de sucessão do litoral paranaense que a velocidade do vento foi a variável mais correlacionada com a deposição total de serapilheira. Gonzales e Galhardo (1982) afirmaram que, em florestas com alto índice de pluviosidade, há um aumento considerável na produção de serapilheira. Por outro lado, Freire (2006) não obteve nenhuma correlação significativa da deposição total de serapilheira com a precipitação em Floresta Atlântica, sendo os picos de deposição verificados nos períodos de menor precipitação.

3.1.3 Fração por espécies

A deposição de folhas das espécies selecionadas nos seis sítios em estudo variou entre as estações do ano e entre as idades dos sítios. A Figura 5 mostra o comportamento da variação mensal da deposição por espécies em cada um dos sítios de florestas secundárias, ao longo do período analisado. As maiores quantidades de deposição ocorreram, de maneira geral, de novembro a fevereiro, com diminuição dos valores nos meses seguintes, mas com exceção para algumas espécies com será descrito a seguir.



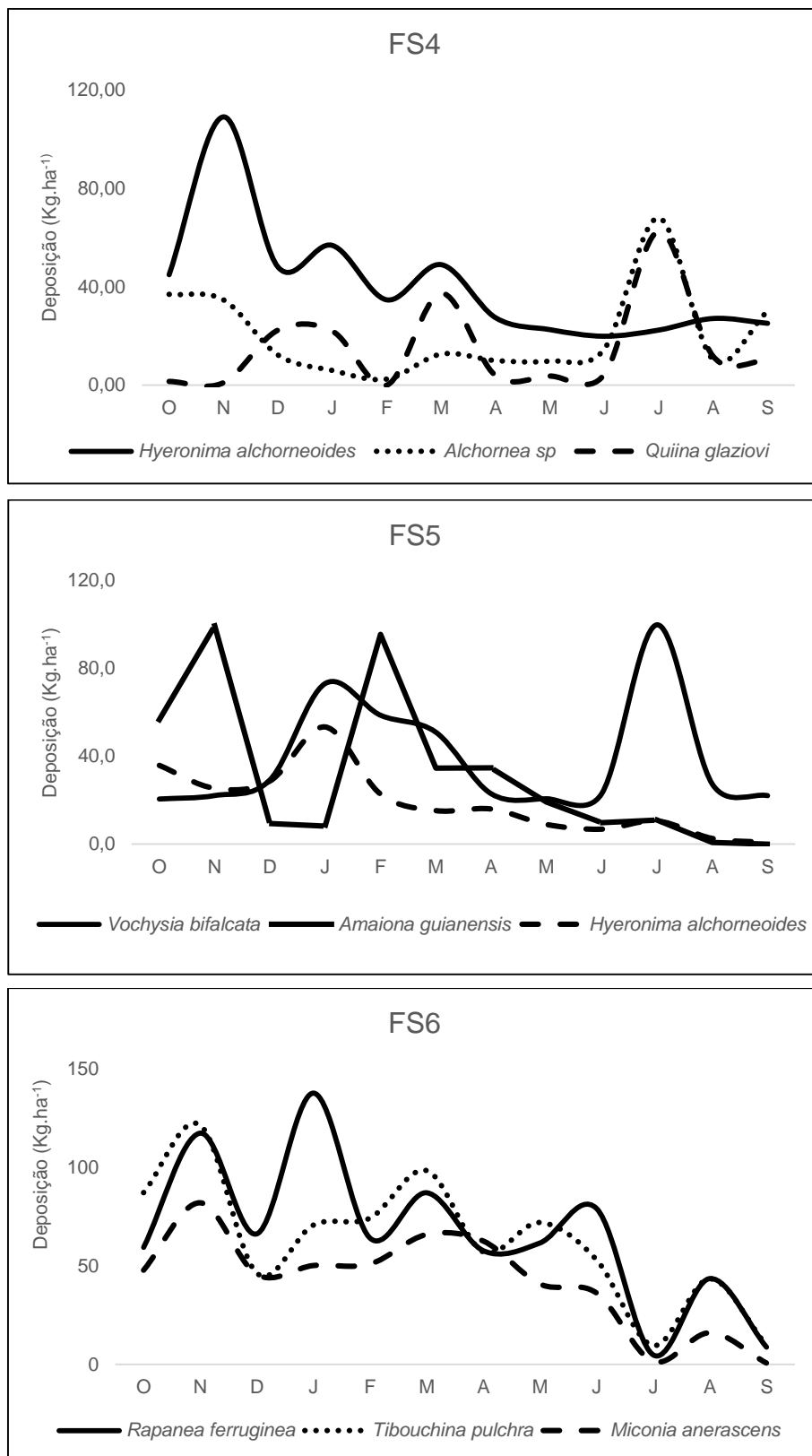


FIGURA 5. VARIAÇÃO MENSAL DA DEPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA DE DIFERENTES ESPÉCIES, EM SEIS SÍTIOS COM DIFERENTES IDADES, NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR. OS GRÁFICOS POSSUEM AMPLITUDES DIFERENTES.

No sítio FS1, o maior pico de deposição das espécies selecionadas foi o de *H. alchorneoides*, no mês de novembro com 109 kg.ha⁻¹, seguida de *V. bicuhyla*, 80 kg.ha⁻¹ e *S. guianensis* com 57 kg.ha⁻¹ no mês de janeiro. No sítio FS4, o maior pico de deposição das espécies selecionados foi o de *Alchornea* sp., no mês de novembro com 90 kg.ha⁻¹, seguida de *H. alchorneoides*, 83 kg.ha⁻¹ e *S. guianensis* com 22 kg.ha⁻¹ no mesmo mês.

No sítio FS3, o maior pico de deposição das espécies selecionados foi o de *H. alchorneoides*, no mês de novembro com 278 kg.ha⁻¹, seguida de *V. bicuhyla*, 112 kg.ha⁻¹ e *C. oblongfolia* com 41 kg.ha⁻¹ no mesmo mês.

Nos sítios mais velhos (FS1 e FS2), houve variação no sítio FS2; o maior pico de deposição das espécies selecionados foi o de *H. alchorneoides* no mês de novembro com 109 kg.ha⁻¹, seguida de *Alchornea* sp., 68 kg.ha⁻¹ e *Q. glaziovii* com 62 kg.ha⁻¹ no mês de julho. A importância da espécie *H. alchorneoides* na deposição total por espécies, porém, nestas áreas os índices de valor importância são mais baixos em relação ao estágio intermediário. Neste contexto, outras espécies assumem importância na deposição, especificamente *Alchornea* sp, que é considerada uma espécie secundária inicial, ou seja, pouco tolerante à sombra e *Q. glaziovii*, classificada com tolerante à sombra, evidenciando a transição em que se encontram os estágios sucessionais em diferentes idades.

De acordo com índices fitossociológicos (ANEXO I), a espécie Flor de Cera (*Psychotria nuda*) dominou os valores de importância e de cobertura nestes sítios mais velhos, porém sua contribuição não alcançou 1% da deposição total. Este fato pode ser explicado pelo reduzido porte da espécie, o que dificulta a dispersão de suas folhas. Um posicionamento de coletores próximos às plantas desta espécie poderia mudar este cenário. Outra dificuldade para se estimar adequadamente a contribuição desta espécie está no fato de suas folhas apresentarem tamanho reduzido e serem muito tenras, enrugando-se no processo de secagem e dificultando a sua identificação durante a triagem. As espécies selecionadas no sítio FS3 possuíram relação com os parâmetros fitossociológicos da área, ou seja, a espécie *H. alchorneoides* representou um valor de importância de 29% e somado os

valores de importância de *V. bicuhybae* e *C. oblongifolia* representam 42% da área. Na área FS2, as espécies *H. alchorneoides*, *Alchornea* sp., e *S. guianensis* representam 47% do valor de importância refletindo diretamente no total de serapilheira depositada. É importante notar que a espécie *H. alchorneoides* dominou a quantidade de serapilheira nas frações por espécies depositada nesse estágio sucessional. Esta espécie é classificada como secundária tardia e clímax, o que sugere que a sua existência em áreas consideradas avançadas se deve, em parte, à sua grande dominância relativa (> 10%) e altura média (dominante no dossel superior da floresta).

No sítio FS5, os maiores picos de deposição das espécies selecionadas foram o de *V. bifalcata* e *A. guianensis*, com 100 kg.ha⁻¹, no mês de julho e novembro respectivamente, e *H. alchorneoides* com 73 kg.ha⁻¹ no mês de janeiro. Na área FS6, o maior pico de deposição das espécies selecionadas foi o de *R. ferruginea* no mês de janeiro com 138 kg.ha⁻¹, seguida de *T. pulchra*, 121 kg.ha⁻¹ e *M. cinerascens* com 81 kg.ha⁻¹, ambas no mês de novembro.

Ainda, no sítio FS5, a fração por espécies mostrou pouca correlação com o parâmetro fitossociológico, IVI, com exceção de *A. guianensis*, que representa 21% do valor de importância. Além dessa espécie, a *V. bifalcata*, considerada secundária inicial, é muito abundante em áreas em estágios de capoeira e capoeirão, por ser heliófila, e apresentou deposição constante ao longo do período. A espécie de maior importância e cobertura nesta área, *Pera glabrata*, representou 0,8% da deposição total no período. A área em estágio inicial FS6, por outro lado, teve boa correlação com os parâmetros fitossociológicos uma vez que as duas principais espécies na deposição por frações foram as duas maiores espécies em valor de importância e de cobertura.

Os dados fitossociológicos (ANEXO I) mostraram uma hierarquia das espécies segundo sua importância na estruturação das áreas ou locais específicos. Assim, cada área terá uma contribuição diferente de distintas espécies, com relação ao número de indivíduos, sua biomassa ou sua distribuição. Ou seja, duas florestas podem ter a mesma densidade média, altura média, área basal, ou mesmo a mesma composição de espécies e

mesmo assim apresentar hierarquia de espécies completamente distinta, representando, portanto, áreas distintas. Neste contexto está inserida a dinâmica das florestas em sucessão secundária, e mesmo áreas tendo a mesma idade, podem ter características distintas.

Nos sítios em estudo pode-se observar que apesar da mesma idade, a deposição por espécies foi diferente dos parâmetros fitossociológicos para a maioria dos sítios, ou seja, algumas espécies importantes não tiveram deposição no período.

A baixa deposição de serapilheira de algumas espécies pode estar relacionada à sua distribuição espacial. Os coletores de serapilheira foram alocados de forma sistemática; é possível que os indivíduos de algumas espécies estejam agrupados nas áreas onde os coletores não foram instalados. O mais adequado seria colocar o coletor em baixo de cada indivíduo. Além disso, a baixa deposição pode estar ligada às características ecológicas e morfológicas dessas espécies, as quais são muito variáveis ao longo do ano.

A maior variação da deposição das espécies em relação às idades foi notada pela diferença na dinâmica de deposição. A espécie *Hyeronima alchorneoides* aumenta a quantidade de serapilheira depositada em relação à idade por ser intolerante a sombra. *Vochysia bifalcata* diminuiu a quantidade relativa de serapilheira depositada à medida que aumentou a idade da floresta. Por outro lado, espécies como *Tibouchina pulchra* e *Rapanea ferruginea* depositaram grandes quantidades apenas em um dos sítios mais jovens, e em outras áreas não contribuíram para o depósito de fitomassa. Portanto, as espécies pioneiras exigentes em luz vão sendo paulatinamente substituídas por outras ecologicamente mais adaptadas às condições ambientais existentes, conforme o avanço da estrutura e individualização e complexidade da floresta.

A análise correlação de *Pearson* entre as três principais espécies de cada sítio com as variáveis meteorológicas durante o período de estudo é mostrada na Tabela 10.

TABELA 10. CORRELAÇÃO ENTRE AS MÉDIAS MENSAS DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS COM A DEPOSIÇÃO FOLIAR DE TRÊS PRINCIPAIS ESPÉCIES EM SEIS SÍTIOS EM FLORESTA OMBRÓFILA DENSE SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

SÍTIO		<i>H. alchorneoides</i>	<i>V. bicuhyba</i>	<i>C. oblongifolia</i>
FS1	Precip.	0,73*	0,05	0,09
	TMáx	0,58*	0,03	0,06
	TMéd	0,57	0,08	0,08
	T Mín	0,57*	0,01	0,08
	UR	-0,46	-0,70	-0,68
FS2		<i>H. alchorneoides</i>	<i>Alchornea sp</i>	<i>S. guianensis</i>
	Precip.	0,421	0,131	0,178
	TMáx	0,52	0,17	0,26
	TMéd	0,55	0,20	0,32
	T Mín	0,55	0,21	0,34
FS3		<i>H. alchorneoides</i>	<i>V. bifalcata</i>	<i>S. guianensis</i>
	Precip.	0,65*	0,74*	0,79**
	TMáx	0,51	0,67*	0,62*
	TMéd	0,53	0,71*	0,63*
	T Mín	0,56	0,74*	0,66*
FS4		<i>H. alchorneoides</i>	<i>Alchornea sp</i>	<i>Q. glaziovii</i>
	Precip.	0,37	-0,38	0,40
	TMáx	0,39	-0,52	0,56
	TMéd	0,45	-0,45	0,53
	T Mín	0,47	-0,40	0,49
FS5		<i>V. bifalcata</i>	<i>A. guianensis</i>	<i>H. alchorneoides</i>
	Precip.	0,43	0,45	0,75**
	TMáx	0,22	0,54	0,65*
	TMéd	0,21	0,59*	0,69*
	T Mín	0,24	0,59*	0,72**
FS6		<i>R. ferruginea</i>	<i>T. pulchra</i>	<i>M. cinerascens</i>
	Precip.	0,62*	0,25	0,45
	TMáx	0,55	0,36	0,54
	TMéd	0,55	0,42	0,59*
	T Mín	0,56	0,43	0,59*
	UR	-0,46	-0,69	-0,61

Precip. – Precipitação (mm), TMáx, TMéd e Tmín – Temperatura máxima, média e mínima (°C), UR – Umidade relativa do ar (%), *Significativos a 5% de probabilidade, **Significativo a 1% de probabilidade.

Dentre as variáveis meteorológicas analisadas não houve um padrão na correlação com a deposição por espécies. As correlações significativas foram fracas e/ou moderadas entre as variáveis. *H. alchorneoides*, presente em cinco das seis áreas de estudo, correlacionou positiva e significativamente com precipitação e temperatura apenas em FS1 e FS5 e em FS3 apenas com a precipitação, e negativamente com a umidade relativa do ar em FS4.

S. guianensis e *V. bifalcata* correlacionaram-se positiva e significativamente com precipitação e temperatura na FS3. *M. cinerascens* e *A. guianensis* foram significativas e de forma positiva com temperatura média e mínima em FS5 e FS6, respectivamente e ainda, nesta última, *R. ferruginea* esteve correlacionada com a precipitação. As demais espécies não mostraram correlação significativa com nenhuma variável meteorológica em nenhum dos sítios.

Um exemplo disso são as espécies *Alchornea sp* e *Q. glaziovii* em FS4, e *V. bifalcata* em FS5, que tiveram seus picos de deposição no inverno, e não se correlacionaram com nenhuma variável meteorológica nesse estudo, representando a expressão de alguma característica fisiológica das espécies. Bianchin (2013), em uma floresta menos desenvolvida, encontrou um pico de deposição de *V. bifalcata* no inverno, e assim os resultados corroboram com obtidos na área FS5.

Os picos observados de deposição de folhas por espécies nesse estudo coincidiram com os períodos de maior precipitação e temperatura (primavera e verão). Esses resultados também foram verificados em outros estudos na Floresta Atlântica no Paraná (PINTO, 2001; ROCHA, 2006; DICKOW, 2010 e BIANCHIN, 2013).

3.2 Nutrientes da serapilheira depositada

3.2.1 Carbono, nitrogênio e relação carbono/nitrogênio

A concentração de C, N e relação carbono/nitrogênio (C/N), variaram de acordo com as frações de serapilheira depositada. Os resultados são apresentados na Tabela 11.

TABELA 11. CONCENTRAÇÃO DE C, N E RELAÇÃO C/N DAS FRAÇÕES DE SERAPILHEIRA DE SEIS SÍTIOS EM FORMAÇÕES SECUNDÁRIAS NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

SÍTIO	Frações	Concentração (g.kg ⁻¹)		Relação C/N
		C	N	
FS1	Folhas Diversas	449,6 a ¹	22,4 a	19,8 b
	Ramos	443,3 ab	13,8 b	32,4 a
	Miscelânea	436,6 b	21,9 a	20,0 b
	Órgãos Reprodutivos	451,2 a	20,8 a	21,7 b
FS2	Folhas Diversas	450,2	24,5 a	18,3 b
	Ramos	444,8	15,1 c	29,7 a
	Miscelânea	450,4	20,9 b	21,5 b
	Órgãos Reprodutivos	451,3	20,9 b	21,6 b
FS3	Folhas Diversas	449,6 a	21,0 a	21,4 b
	Ramos	443,3 ab	13,1 c	33,9 a
	Miscelânea	436,7 b	19,5 ab	22,3 b
	Órgãos Reprodutivos	451,2 a	18,1 b	24,9 b
FS4	Folhas Diversas	460,1 a	24,3 a	18,9 c
	Ramos	450,6 ab	16,8 c	26,8 a
	Miscelânea	443,7 b	24,4 a	18,1 c
	Órgãos Reprodutivos	461,9 a	22,1 b	20,9 b
FS5	Folhas Diversas	451,8 b	19,8 a	22,8 b
	Ramos	468,4 a	13,4 c	34,9 a
	Miscelânea	454,9 b	18,4 b	24,7 b
	Órgãos Reprodutivos	465,0 a	19,2 ab	24,2 b
FS6	Folhas Diversas	445,7 b	18,1 a	24,6 c
	Ramos	454,3 b	11,4 c	39,8 a
	Miscelânea	442,8 b	14,4 b	30,7 b
	Órgãos Reprodutivos	504,0 a	15,5 b	32,5 b

¹Médias seguidas de mesma letra em coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em geral, a concentração de C entre os sítios não apresentou comportamento padrão, apenas foi observado o maior aumento nas áreas menos desenvolvidas, diferente do observado por Dickow (2012), com maior valor de C na floresta secundária intermediária para todas as frações. O teor de C foi estável na parte aérea e, por conseguinte, seria a variável que menos contribuiria na dissimilaridade das frações em relação ao teor de nutrientes.

O teor mais baixo de N na fração ramos deve-se ao fato do material ser mais lenhoso, normalmente com valores mais baixos. Em outras florestas secundárias também foi observada esta tendência de aumento na concentração de N na serapilheira com o avanço da sucessão (PEZZATO,

2004; BRUN, 2002; TOLEDO et al., 2002; DICKOW, 2012). As maiores concentrações de N nas frações foram em miscelânea, destacando-se as áreas FS1, FS2 e FS4 corroborando com alguns autores (PINTO & MARQUES, 2003; BOEGER et al., 2005; SCHEER, 2006 e BIANCHIN, 2013) que, observaram uma tendência de aumento do teor de N com o avanço da sucessão secundária da floresta.

Os valores da relação C/N foram maiores valores na fração ramos, sendo estaticamente superior às demais frações em todas as áreas. A relação C/N foi maior no início da sucessão (sítios mais novos) e foi decrescendo com o aumento da idade da floresta (sítios mais velhos), para a maior parte das frações. A tendência de diminuição da relação C/N com o avanço da sucessão em folhas de espécies da Floresta Atlântica foi descrita por outros autores (BOEGER et al., 2005; DICKOW, 2012 e BIANCHIN, 2013).

Segundo Siqueira & Franco (1988), quando a serapilheira apresenta relação C/N superior a 30:1, o N fica imobilizado, e como consequência há redução na disponibilidade de amônio e nitrato no solo. Quando a relação fica entre 20-30:1, os processos de imobilização e mineralização se igualam, e abaixo de 20:1 ocorre a mineralização com a maior disponibilidade de compostos nitrogenados. Nesse estudo, para as frações, a fração ramos em FS1, FS3, FS5 e FS6 e as frações miscelânea e órgãos reprodutivos na última, tiveram relação C/N superior a 30:1, imobilizando mais N, e a fração folhas diversas em FS1, FS2 e FS4, e ainda miscelânea em FS4 mineralizam o N.

Para a comparação entre as espécies, não foram identificadas diferenças para as concentrações de C e N entre as espécies, como também para a relação C/N (Tabela 12).

Para as espécies que se repetem nas áreas, não houve um padrão das concentrações e da relação C/N, uma vez que houve variação, à exceção de *Alchornea* sp onde nas áreas FS2 e FS4 os valores foram bem similares, ou seja, apresentaram a mesma relação C/N nas duas situações onde foram estudadas não havendo influência da idade sobre este parâmetro, como observado por DICKOW (2010). Para *H. alchorneoides*, a relação C/N foi menor nas áreas mais velhas em relação à intermediária deste modo, é

possível que ocorra uma interferência da idade dos sítios na concentração de C e N nas folhas dessa espécie.

TABELA 12. CONCENTRAÇÃO DE C, N E RELAÇÃO C/N NAS FOLHAS DE TRES PRINCIPAIS ESPÉCIES EM SEIS SÍTIOS EM FORMAÇÕES SECUNDÁRIAS NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSE SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

SÍTIO	Espécie	C ^(ns)	N ^(ns)	Relação C/N ^(ns)
FS1	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	474,2	16,9	28,1
	<i>Virola bicuhyla</i>	469,6	17,1	27,5
	<i>Cupania oblongfolia</i>	468,4	17,6	26,6
FS2	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	462,4	18,4	25,1
	<i>Alchornea</i> sp	440,9	19,3	22,8
	<i>Slonea guianensis</i>	450,7	19,1	23,6
FS3	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	448,7	13,1	34,3
	<i>Vochysia bifalcata</i>	445,1	13,7	32,5
	<i>Slonea guianensis</i>	435,8	14,5	30,1
FS4	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	466,7	18,2	25,6
	<i>Quiina glaziovi</i>	466,8	22,5	20,7
	<i>Alchornea</i> sp	466,7	22,1	21,1
FS5	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	452,2	18,2	24,8
	<i>Vochysia bifalcata</i>	451,2	18,0	25,1
	<i>Amaiona guianensis</i>	452,5	19,5	23,2
FS6	<i>Tibouchina pulchra</i>	449,9	14,3	31,5
	<i>Miconia cinerascens</i>	446,7	14,2	31,4
	<i>Rapanea ferruginea</i>	441,9	13,9	31,8

(ns) - não significativo.

3.2.2 Macro e micronutrientes e alumínio (Al)

As concentrações dos macro e micronutrientes e Al nas frações de serapilheira mostraram comportamentos distintos em função da idade dos sítios em sucessão secundária. A Tabela 13 mostra os resultados das concentrações de macro e micronutrientes e alumínio por frações nos sítios em estudo.

TABELA 13. CONCENTRAÇÃO DE MACRO E MICRONUTRIENTES; E ALUMÍNIO POR FRAÇÕES EM SEIS SÍTIOS EM FLORESTA OMBRÓFILA DENSA SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

FRAÇÕES	SÍTIO	g.kg ⁻¹					mg.kg ⁻¹			
		P	K	Ca	Mg	Al	Cu	Mn	Fe	Zn
Ramos	FS1	0,4 b ¹	1,8 c	6,1	1,4	0,9 bc	10,4	489 a	63 b	20,5
	FS2	0,4 b	1,9 c	8,8	1,6	0,4 c	11,5	514 a	128 ab	19,4
	FS3	0,3 b	2,6 ab	5,6	1,4	1,2 ab	8,9	375 a	67 b	40,4
	FS4	0,9 a	3,6 ab	6,6	4,1	0,6 bc	9,2	554 a	157 a	29,9
	FS5	0,9 a	3,8 a	5,7	2,1	1,8 a	11,5	164 b	172 a	27,1
	FS6	0,3 b	2,2 bc	6,7	1,3	1,1 ab	8,1	364 ab	63 b	26,2
Miscelanea	FS1	0,6 b	2,7	7,4	1,7	1,2 bc	8,4 b	565 b	93 b	18,0
	FS2	0,3 c	1,7	9,5	1,4	0,14 d	4,2 b	685 a	106 ab	15,4
	FS3	0,7 b	3,1	6,4	1,7	2,3 a	9,5 b	312 c	169 a	53,5
	FS4	1,1 a	3,1	8,5	5,0	2,4 a	6,6 b	537 b	86 b	24,0
	FS5	0,8 b	3,1	5,7	2,1	0,7 cd	17,8 a	98 d	97 b	19,5
	FS6	0,7 b	2,6	8,5	1,5	1,8 ab	7,9 b	228 c	139 ab	22,1
Folhas Diversas	FS1	0,5	2,5	7,0 ab	1,5	1,7 a	6,3 b	525 a	96 ab	20,3 ab
	FS2	0,5	2,9	9,5 a	1,2	0,7 bc	11,3 a	504 ab	89 ab	35,8 a
	FS3	0,4	2,7	6,2 bc	1,8	1,1 b	6,0 b	347 ab	81 b	15,6 b
	FS4	0,4	1,9	4,4 c	2,7	0,1 c	5,7 b	319 b	85 b	28,5 ab
	FS5	0,5	2,4	5,8 bc	2,3	1,7 a	9,3 ab	390 ab	148 a	31,7 ab
	FS6	0,5	2,3	9,1 ab	1,6	1,5 a	6,6 b	384 b	110 ab	23,3 ab
Órgãos Reprodutivos	FS1	0,9 a	3,8	5,6	1,4	1,7 ab	9,9	400 b	87	34,7 b
	FS2	0,9 a	3,2	4,0	1,1	1,9 a	8,0	267 bc	76	83,4 a
	FS3	1,5 a	2,9	3,3	1,6	1,5 ab	9,1	140 cd	74	14,5 b
	FS4	0,4 b	2,5	5,4	3,4	0,8 bc	5,9	566 a	61	18,9 b
	FS5	0,4 b	2,5	5,6	2,3	0,2 c	7,1	73 d	99	8,9 b
	FS6	0,7 a	2,7	4,5	1,1	1,1 ab	5,5	82 d	68	9,4 b

¹Médias seguidas de mesma letra em coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os maiores teores de P foram na fração órgãos reprodutivos; Ca concentrou mais nas frações miscelânea e folhas diversas; Mg em miscelânea em FS1 e ramos em FS2; K teve maior teor em órgão reprodutivos e, em folhas diversas em FS2, e por fim, alumínio concentrou mais em ramos em FS1 e órgãos reprodutivos em FS2.

A concentração de macronutrientes e Al nos sítios em idade intermediária, os maiores teores de P foram na fração órgãos reprodutivos, e em ramos na FS3; Ca concentrou mais nas frações miscelânea, e folhas diversas em FS3; a concentração de Mg foi variável sendo concentrado em

folhas diversas em FS3, e em miscelânea e ramos em FS4; K teve maior concentração em miscelânea e em órgãos reprodutivos em FS3, e ramos em FS4; e, por fim, Al acumulou mais na fração miscelânea. Todas as frações tiveram interação significativa com as estações do ano em FS3 e apenas Ca, Mg e K em FS4.

Por fim, a concentração dos macronutrientes e Al nos sítios mais novos, as maiores concentrações de P foram na fração miscelânea, e em ramos na FS5 e em FS6; Ca concentrou mais nas frações miscelânea e órgãos reprodutivos em FS6 e não foi significativo em entre as frações na FS5; Mg foi similar entre as frações folhas diversas, ramos e órgãos reprodutivos em FS5 e teve maior teor em folhas diversas e miscelânea em FS6; K teve maior concentração em ramos em FS5 e foi não significativo em FS6, e por fim, o Al concentrou mais na fração ramos e folhas diversas em FS5 e na fração miscelânea em FS6.

Nos sítios deste estudo, a concentração de macronutrientes e alumínio nas frações apresentou a sequência $N > Ca > K > Mg > P > Al$, com exceções, especialmente para o Mg, K e Al em algumas frações. Essa sequência foi similar em áreas de Floresta Ombrófila Densa Submontana (LEITÃO FILHO et al., 1993; MORAES et al., 1999 e DICKOW, 2012).

Os teores de P acumularam mais nas frações órgãos reprodutivos e miscelânea. Nas sementes, a substância fosforada existente como material de reserva explica a quantidade presente do nutriente na fração. O P é altamente móvel no floema sendo facilmente redistribuído dos órgãos mais velhos para os mais novos, sendo que grande parte dele se encontra nas folhas jovens em plena atividade metabólica (NEVES et al., 2001), portanto a sua concentração pode ser diminuída nas folhas senescentes e por consequência na serapilheira. Maiores concentrações de P nos órgãos reprodutivos também foram encontradas por Cunha et al. (1993), Britez (1994), Moraes et al. (1999), Pires (2000), Martins (2004), Dickow (2010).

A fração miscelânea apresentou as maiores concentrações dos elementos em quase todas as áreas: P em FS5 e FS6; Ca em FS1, FS2, FS3, FS4 e FS6; Mg em FS1, FS4 e FS6; K em FS3 e FS4 e também Al em FS4,

FS4 e FS5. Este fato é justificado pela presença de resíduos de material vegetal das demais frações e restos de animais e fezes em abundância nesta fração (CUNHA et al., 1993; BRITZ, 1994; MORAES et al., 1999; ROCHA; 2006, DICKOW, 2012 e BIANCHIN, 2013).

As maiores concentrações de Ca observadas na fração miscelânea em quase todas as áreas pode ser atribuída à mobilidade do nutriente, sendo imóvel e mais estrutural, por sua vez, a liberação dos tecidos é mais lenta (KOEHLER, 1989). Nas frações folhas diversas, houveram maiores concentrações de Ca, em FS6 e FS2, sendo justificado também pela função estrutural do elemento, constituindo o pectato de cálcio a principal substância da lamela média das células. A mobilidade deste elemento é limitada, sendo redistribuído em condições especiais (MALAVOLTA, 1980). Logo, a planta não consegue retranslocar Ca para as partes mais jovens em crescimento, devido a sua imobilidade, e grande parte permanece nas folhas que sofrem abscisão (NEVES et al., 2001), o que explica os maiores teores nessa fração.

O K é um elemento móvel na planta e facilmente lixiviado no solo. Após a queda da serapilheira no coletor, inicia-se o processo de decomposição, por meio da água da chuva e elevadas temperaturas favorecendo a liberação desse nutriente devido a sua mobilidade. A maior concentração do K nas frações pode estar relacionada ao tamanho e a fragmentação do material depositado. Os fragmentos de menor dimensão são mais suscetíveis à lavagem de seus nutrientes pela água da chuva, em especial do K, que é altamente móvel, e por consequência aumentariam o teor do nutriente na fração miscelânea. O teor de K na fração órgãos reprodutivos e ramos pode estar relacionado há uma maior dificuldade de lixiviação do K dos tecidos destas frações.

Bianchin (2010) comentou que o Mg na fração folhas, mesmo sendo um elemento móvel, ainda mantém concentrações relativamente elevadas após a senescência e deposição da serapilheira ao solo. Os teores de Mg mais altos nesta fração estão relacionados à função fisiológica que esse nutriente exerce nas plantas, uma vez que o elemento está diretamente ligado ao metabolismo energético, atuando como constituinte das moléculas de clorofila como ativador

de enzimas (MALAVOLTA et al., 1997). Neste estudo, não foi observado diferença estatística entre os teores de Mg, bem como as concentrações foram similares entre as frações.

A concentração de Al foi variável entre as frações e os sítios. Em especial, as áreas onde ocorreram maiores indivíduos das famílias acumuladoras de Al (Rubiaceae, Melastomataceae e Vochysiaceae) (Chenery, 1948, Jansen et al., 2002) foi verificado que a fração folhas diversas foi superior estatisticamente as demais áreas.

Vários fatores podem influenciar os teores contidos nas frações da serapilheira tais como a diversidade de espécies e de partes da planta que compõem a serapilheira, diferentes períodos de deposição, local da árvore de onde o material é proveniente (posição na copa), lavagem das folhas, entre outros (BRITEZ, 1994). Nos sítios e para algumas frações, a estabilidade nas concentrações dos macronutrientes durante o ano demonstra que a qualidade da serapilheira pouco se alterou e que a serapilheira influencia a dinâmica anual de populações de organismos do solo e o fornecimento de nutrientes mais em função de sua quantidade do que de variação em sua qualidade (CUNHA et al., 1993). A partir disso, tem-se um efeito de casualidade, sem uma explicação biológica definida nas concentrações de nutrientes pelas frações ao longo das estações do ano.

Os teores de micronutrientes foram similares nos sítios mais velhos. No sítio FS1 houve significância apenas para a concentração de Mn entre as frações e nas demais frações foram estatisticamente iguais. No sítio FS1, o Mn acumulou mais na fração órgãos reprodutivos e as menores concentrações ocorreram na fração ramos, ao contrário de Zn, onde os maiores teores ocorreram nesta fração. Para o Fe, os maiores teores foram na fração miscelânea e para o Cu, folhas diversas e miscelânea alcançaram as maiores concentrações.

Na concentração de micronutrientes para os sítios intermediários não houve significância para o Zn. Especialmente no sítio FS3 houve diferença estatística entre as frações para Cu e Mn, sendo que as frações miscelânea, ramos e órgãos reprodutivos foram superior a folhas diversas para o Cu, e nos

teores de Mn folhas diversas e miscelânea foram superiores. Os teores de Cu foram maiores na fração miscelânea e, para os teores de Mn, as frações órgãos reprodutivos, ramos e miscelânea foram superiores a folhas diversas. Na concentração de Fe os maiores teores observados foram na fração miscelânea.

Por fim, na concentração de micronutrientes nos sítios mais novos, no sítio FS5 a maior concentração de Cu foi na fração órgãos reprodutivos no caso do Fe a fração miscelânea alcançou as maiores concentrações. Para o Mn e Zn, houve maiores concentrações na fração folhas diversas em relação às demais. No sítio FS6, a fração folhas diversas e miscelânea foram superiores às demais. A fração órgãos reprodutivos concentrou mais Cu e Fe, e no último elemento foi igual a miscelânea. A concentração de Zn não foi significativa para este sítio.

Para as frações de serapilheira depositada nos seis sítios, a sequência de concentração de micronutrientes foi $Mn > Fe > Zn > Cu$. Em comparação com alguns macronutrientes, a concentração de determinados micronutrientes, em particular o Mn e o Fe, alcançou valores relativamente altos, semelhante aos resultados encontrados por Pinto (2001), Dickow (2012) e Bianchin (2013) em diferentes fases de sucessão secundária em Floresta Atlântica. O Zn não diferiu estatisticamente em quase todas as áreas, o que mostra a estabilidade do nutriente de acordo com a idade do sítio.

O Fe e Mn apresentaram as maiores concentrações e Cu e Zn as menores concentrações na serapilheira em todas as áreas. Os elevados teores de Mn e Fe foram observados em outros estudos (MORAES et al., 1999; PINTO, 2001; DICKOW, 2010; BIANCHIN, 2013). Para o Fe, esse comportamento pode estar relacionado à alta concentração desse elemento no solo das parcelas de estudo.

Com relação às frações, de uma forma geral, ramos concentrou menos Mn nas áreas mais velhas. O Fe foi o elemento que mais acumulou nas frações miscelânea e órgãos reprodutivos, assim como o Cu, independente da idade dos sítios.

3.2.3 Macronutrientes e alumínio (Al) por espécies

Com relação às espécies mais representativas das áreas, as maiores concentrações de P ocorreram nas espécies da área FS5, e por *Cupania oblongifolia* em FS3. O Ca concentrou mais nos sítios mais novos com as espécies *Tibouchina pulchra* e *Miconia cinerascens*, e com *Cupania oblongifolia* em FS3 e *Hyeronima alchorneoides* em FS5. A concentração de Mg foi maior na área FS4, destacando-se as espécies *Quiina glaziovii* e *Alchornea* sp. As concentrações de K foram similares entre espécies, e o maior teor foi observado nas folhas da espécie *Vochysia bifalcata* em FS5. *Vochysia bifalcata* foi a espécie que mais acumulou alumínio nas duas áreas em que foi representativa, e ainda se destacaram *Tibouchina pulchra* e *Miconia cinerascens* em FS6 (Tabela 14).

TABELA 14. CONCENTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES E Al (g.kg⁻¹) NAS FOLHAS DE ESPÉCIES EM SEIS SÍTIOS EM FLORESTA OMBRÓFILA DENSA SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

Sítio	Espécie	P	Ca	Mg	K	Al
FS1	<i>Vochysia bifalcata</i>	0,35 b	5,3 b	1,8 b	2,9	5,2 a
	<i>Slonea guianensis</i>	0,36 b	7,8 a	1,6 c	2,6	0,5 b
	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	0,59 a	5,0 b	2,0 a	3,2	0,4 b
FS2	<i>Alchornea</i> sp	0,79 a	6,1 b	1,6 b	3,4 a	0,33 ab
	<i>Slonea guianensis</i>	0,55 ab	9,1 a	1,5 b	2,7 ab	0,13 b
	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	0,39 b	7,1 b	1,9 a	1,9 b	0,55 a
FS3	<i>Virola bicuhyla</i>	0,53 b	9,0 ab	2,1 b	2,5	1,4
	<i>Cupania oblongifolia</i>	0,87 a	11,3 a	2,4 a	3,7	1,4
	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	0,70 ab	7,9 b	2,1 b	3,5	1,0
FS4	<i>Quiina glaziovii</i>	0,59 b	7,2	4,5	3,5 a	0,23 b
	<i>Alchornea</i> sp	0,79 a	6,7	4	3,3 ab	0,87 a
	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	0,64 b	6,1	3,8	2,9 b	0,66 a
FS5	<i>Amaiona guianensis</i>	0,77	7,3	3,1	3,4	1,6 b
	<i>Vochysia bifalcata</i>	1,00	9,3	3,2	4,5	4,7 a
	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	1,10	11,3	3,4	3,9	0,3 b
FS6	<i>Tibouchina pulchra</i>	0,64	14,5 a	1,6 b	2,8	2,3 b
	<i>Miconia cinerascens</i>	0,68	16,3 a	2,1 a	3,2	2,9 a
	<i>Rapanea ferruginea</i>	0,53	7,2 b	1,6 b	2,9	0,6 c

¹Médias seguidas de mesma letra em coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Algumas espécies podem desenvolver estratégias de tolerância ao Al, que, em altas concentrações, é tóxico para a maioria das plantas cultivadas e

são conhecidas como acumuladoras de Al, com mais de 1000 mg kg⁻¹ (Chenery 1948).

Uma possível estratégia envolve mecanismos de exclusão do Al da raiz, de forma que as concentrações foliares são bem menores que as concentrações de na rizosfera (Kochian, 1995). As famílias mais características dentre as acumuladoras de Al são Rubiaceae, Melastomataceae (*Tibouchina pulchra* e *Miconia cinerascens*) e Vochysiaceae (*Vochysia bifalcata*) (Chenery, 1948; Jansen et al., 2002).

3.2.4 Micronutrientes

Micronutrientes por espécies

O teor de micronutrientes nas folhas das espécies selecionadas seguiu a sequência Mn>Fe>Zn>Cu para a maioria das espécies, à exceção de *Amaiona guianensis* e *Tibouchina pulchra*, que apresentaram a ordem Fe>Mn>Zn>Cu.

Foi observado, nas concentrações de micronutrientes nas espécies com maiores taxas de deposição, maior teor de Cu na espécie *Hyeronima alchorneoides* em FS5. Dickow (2010) encontrou valores de Cu mais altos nas folhas de *H. alchorneoides* em áreas em estágio mais velho.

Para o Mn, *Cupania oblongifolia* teve 1373 mg.kg⁻¹ em FS3, quase três vezes mais do que a média das demais folhas das espécies. Bianchin (2013) encontrou valores próximos a 1,3 g.kg⁻¹, para *Cupania oblongifolia* em áreas mais desenvolvidas, o que pode ser considerado um valor alto. Os valores mais baixos de Mn para *H. alchorneoides* nas áreas intermediárias estão de acordo com os dados de Dickow (2010).

No caso do Fe, *Amaiona guianensis* e *Hyeronima alchorneoides* tiveram as maiores concentrações em FS5 e FS4, respectivamente.

E por fim, a concentração de Zn foi maior nas folhas de *Cupania oblongifolia* e *Miconia cinerascens* em FS3 e FS6. Bianchin (2010) também encontrou valores próximos a 30 mg.kg⁻¹ para Zn nas folhas de *Cupania oblongifolia* em áreas em estágio avançado.

No geral, as espécies que menos concentraram micronutrientes foram *Quiina glaziovii* e *Rapanea ferruginea* em FS4 e FS6. As demais espécies que se repetiram nas áreas não seguiram um padrão de concentração de micronutrientes, variando de acordo com a idade das áreas (Tabela 15).

TABELA 15. CONCENTRAÇÃO DE MICRONUTRIENTES (mg.kg⁻¹) NAS FOLHAS DE ESPÉCIES EM SEIS SÍTIOS EM FLORESTA OMBRÓFILA DENSA SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

Sítio	Espécie	Cu	Mn	Fe	Zn
FS1	<i>Vochysia bifalcata</i>	8,5	194 b	108	14,3
	<i>Slonea guianensis</i>	8,9	518 a	104,6	17,5
	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	7,5	101 c	85,2	11,6
FS2	<i>Alchornea</i> sp	11,7 a	234 c	56,6 b	12,1 a
	<i>Slonea guianensis</i>	4,8 b	692 a	119,8 a	9,7 a
	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	10,6 a	355 b	136,3 a	7,0 b
FS3	<i>Virola bicuhyla</i>	11,3	632 b	95,1	12,0 b
	<i>Cupania oblongfolia</i>	7,9	1373 a	108,6	33,7 a
	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	8,9	354 b	105,1	12,6 b
FS4	<i>Quiina glaziovii</i>	7,0 b	424	62,3 b	9,7
	<i>Alchornea</i> sp	7,6 b	595	128,4 a	13,6
	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	11,2 a	436	149,8 a	10,8
FS5	<i>Amaiona guianensis</i>	10,6 b	108 b	149,9 b	19,4
	<i>Vochysia bifalcata</i>	7,9 b	539 a	129,9 b	19,3
	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	18,5 a	470 a	295,9 a	27,8
FS6	<i>Tibouchina pulchra</i>	9,2 a	88 b	133,3	14,2 b
	<i>Miconia cinerascens</i>	9,4 a	263 a	149,4	34,5 a
	<i>Rapanea ferruginea</i>	5,8 b	128 b	115,7	9,3 c

¹Médias seguidas de mesma letra em coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.3 Aporte de nutrientes em florestas secundárias

As quantidades de nutrientes transferidos ao solo, nas diferentes estações, pelas frações de serapilheira, nos seis sítios em floresta secundária são apresentadas nas Tabelas 16, 17, 18, 19, 20, 21.

TABELA 16. QUANTIDADE MÉDIA ESTACIONAL E ANUAL DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE SERAPILHEIRA DA FLORESTA SECUNDÁRIA MAIS VELHA (FS1) NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

FRAÇÃO	ESTAÇÃO	kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹							g.ha ⁻¹ .ano ⁻¹			
		C	N	P	Ca	Mg	K	Al	Cu	Mn	Fe	Zn
Órgãos Reprodutivos	Primavera	61,7	3,4	0,1	1,3	0,3	0,4	0,0	1,4	58,0	15,8	6,0
	Verão	22,6	1,2	0,0	0,5	0,1	0,1	0,0	0,4	21,1	5,7	2,1
	Outono	13,8	0,7	0,0	0,1	0,3	0,1	0,0	0,2	12,6	3,4	1,3
	Inverno	13,2	0,7	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	11,8	3,1	0,6
	TOTAL	111,3	6,0	0,1	1,9	0,6	0,6	0,0	2,1	103,5	27,9	10,0
Folhas Diversas	Primavera	326,3	15,7	0,5	8,5	1,9	2,5	0,8	7,7	551,2	61,5	16,0
	Verão	231,4	11,4	0,3	5,8	1,2	1,7	0,5	4,4	389,8	42,6	10,3
	Outono	137,3	6,8	0,2	0,9	3,4	1,0	0,4	2,3	230,6	24,5	5,7
	Inverno	208,5	10,3	0,2	1,3	1,1	1,5	0,5	2,1	343,0	34,7	18,5
	TOTAL	903,4	44,2	1,2	16,5	7,5	6,8	2,3	16,6	1514,5	163,3	50,5
Ramos	Primavera	136,6	5,4	0,4	4,1	0,9	1,5	0,3	4,6	229,9	66,0	16,5
	Verão	126,2	4,8	0,3	3,7	0,7	1,3	0,2	3,7	211,8	60,3	14,6
	Outono	45,6	1,7	0,1	0,5	1,3	0,5	0,1	1,2	75,8	21,5	3,6
	Inverno	102,5	3,9	0,3	1,0	0,9	1,1	0,2	2,1	167,8	47,2	4,4
	TOTAL	410,9	15,7	1,1	9,3	3,8	4,5	0,7	11,6	685,4	195,0	39,1
Miscelânea	Primavera	330,7	17,6	1,1	13,9	1,8	3,0	2,3	8,3	525,6	85,6	20,7
	Verão	241,4	12,5	0,7	9,7	1,2	2,0	1,6	4,9	371,7	59,6	13,6
	Outono	144,3	7,4	0,4	1,1	5,7	1,3	1,0	2,6	219,8	34,7	10,3
	Inverno	203,7	11,2	0,6	1,6	1,4	1,8	1,4	2,6	326,7	50,1	18,1
	TOTAL	920,0	48,7	3,0	26,4	10,1	8,1	6,4	18,4	1443,7	230,0	62,7
TOTAL PRIMAVERA		855,3	42,0	2,1	27,8	4,8	7,5	3,4	22,0	1364,7	228,8	59,1
TOTAL VERÃO		621,5	29,8	1,4	19,7	3,1	5,1	2,4	13,4	994,4	168,3	40,7
TOTAL OUTONO		341,0	16,6	0,8	2,5	10,7	2,9	1,5	6,4	538,8	84,2	21,0
TOTAL INVERNO		527,9	26,1	1,1	4,0	3,4	4,6	2,1	6,9	849,3	135,0	41,5
SERAPILHEIRA TOTAL		2345,7	114,5	5,4	54,0	22,0	20,0	9,4	48,8	3747,2	616,2	162,3

TABELA 17. QUANTIDADE MÉDIA ESTACIONAL E ANUAL DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE SERAPILHEIRA DA FLORESTA SECUNDÁRIA MAIS VELHA (FS2) NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

FRAÇÃO	ESTAÇÃO	kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹							g.ha ⁻¹ .ano ⁻¹			
		C	N	P	Ca	Mg	K	Al	Cu	Mn	Fe	Zn
Órgãos Reprodutivos	Primavera	48,0	2,3	0,1	0,6	0,2	0,5	0,3	1,1	38,4	10,8	11,9
	Verão	113,7	5,2	0,3	1,4	0,4	1,3	0,6	2,6	91,0	24,9	27,7
	Outono	109,7	5,0	0,3	1,3	0,3	1,0	0,6	2,6	85,5	24,8	27,0
	Inverno	100,3	4,7	0,3	1,1	0,3	0,7	0,6	2,4	77,6	23,1	25,0
	TOTAL	371,6	17,2	1,0	4,3	1,2	3,5	2,1	8,7	292,5	83,6	91,6
Folhas Diversas	Primavera	251,6	12,1	0,4	7,3	1,0	2,0	0,6	8,7	388,2	68,5	27,7
	Verão	266,6	12,8	0,3	7,8	1,1	1,5	0,3	9,0	410,6	71,4	29,4
	Outono	184,3	8,5	0,3	5,2	0,6	1,8	0,4	6,2	275,5	49,3	19,5
	Inverno	176,4	8,1	0,4	4,9	0,5	2,0	0,4	5,9	258,5	47,0	18,2
	TOTAL	878,8	41,5	1,4	25,2	3,3	7,4	1,8	29,8	1332,9	236,2	94,8
Ramos	Primavera	83,9	2,9	0,1	2,3	0,4	0,5	0,1	2,9	132,1	39,4	5,0
	Verão	111,9	3,8	0,2	3,0	0,6	0,8	0,2	3,8	173,5	50,8	6,8
	Outono	101,0	3,4	0,1	2,6	0,4	0,5	0,1	3,4	152,1	46,0	5,7
	Inverno	86,9	2,8	0,1	2,2	0,3	0,4	0,1	2,9	126,7	38,9	4,6
	TOTAL	383,6	12,9	0,5	10,0	1,8	2,2	0,5	13,0	584,3	174,9	22,1
Miscelanea	Primavera	258,0	13,6	0,3	7,3	1,1	1,3	0,1	3,2	526,7	81,3	12,1
	Verão	268,9	15,0	0,3	7,8	1,3	1,3	0,1	3,4	554,8	84,8	13,2
	Outono	185,9	10,2	0,1	5,2	0,7	0,9	0,1	2,3	375,3	58,6	8,3
	Inverno	177,5	9,7	0,1	4,9	0,6	0,9	0,1	2,2	353,5	55,8	7,5
	TOTAL	890,3	48,4	0,8	25,2	3,7	4,4	0,3	11,0	1810,2	280,5	41,0
TOTAL PRIMAVERA		641,5	30,8	0,9	17,5	2,7	4,3	1,1	15,9	1085,3	200,0	56,7
TOTAL VERÃO		761,0	36,7	1,2	19,9	3,4	5,0	1,2	18,8	1229,9	231,8	77,1
TOTAL OUTONO		580,8	27,1	0,9	14,3	2,1	4,2	1,2	14,5	888,4	178,7	60,5
TOTAL INVERNO		541,0	25,4	0,8	13,0	1,7	4,0	1,2	13,3	816,3	164,8	55,3
SERAPILHEIRA TOTAL		2524,3	120,0	3,7	64,7	10,0	17,5	4,7	62,6	4019,9	775,3	249,5

TABELA 18. QUANTIDADE MÉDIA ESTACIONAL E ANUAL DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE SERAPILHEIRA DA FLORESTA SECUNDÁRIA INTERMEDIÁRIA (FS3) NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

FRAÇÃO	ESTAÇÃO	kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹							g.ha ⁻¹ .ano ⁻¹			
		C	N	P	Ca	Mg	K	Al	Cu	Mn	Fe	Zn
Órgãos Reprodutivos	Primavera	29,4	1,3	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,8	14,2	7,3	1,3
	Verão	59,5	2,5	0,1	0,6	0,3	0,5	0,2	1,6	26,1	12,5	2,3
	Outono	125,0	5,6	0,3	1,2	0,6	1,1	0,7	3,2	46,1	21,0	6,2
	Inverno	11,7	0,5	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	4,7	3,1	0,5
	TOTAL	225,5	9,9	0,5	2,2	1,0	2,0	1,1	6,0	91,1	44,0	10,2
Folhas Diversas	Primavera	136,4	5,7	0,2	2,5	0,6	0,9	0,6	2,2	147,1	40,8	5,7
	Verão	147,7	6,4	0,2	2,2	0,8	0,7	0,7	3,0	148,9	35,7	6,6
	Outono	60,7	2,6	0,1	1,0	0,4	0,7	0,2	1,0	75,2	13,0	3,4
	Inverno	35,4	1,2	0,1	0,8	0,2	0,3	0,2	0,6	28,9	7,6	1,5
	TOTAL	380,3	15,9	0,5	6,5	2,0	2,5	1,8	6,8	400,1	97,2	17,3
Ramos	Primavera	22,5	0,7	0,0	0,4	0,1	0,2	0,1	0,6	24,0	6,5	3,0
	Verão	61,2	1,7	0,0	0,8	0,3	0,3	0,2	1,6	63,2	9,5	3,5
	Outono	38,8	1,1	0,0	0,7	0,2	0,4	0,2	1,1	50,0	6,6	8,9
	Inverno	9,0	0,3	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,2	10,2	1,8	0,6
	TOTAL	131,4	3,8	0,1	2,0	0,5	1,0	0,5	3,6	147,5	24,4	16,0
Miscelânea	Primavera	133,2	7,0	0,3	3,3	0,7	1,7	0,9	4,0	123,9	88,9	9,3
	Verão	148,5	7,4	0,3	2,3	0,7	0,8	0,9	4,3	124,1	55,7	9,0
	Outono	60,3	2,8	0,1	1,1	0,3	0,7	0,5	1,7	57,2	35,9	27,4
	Inverno	34,0	1,5	0,1	0,6	0,2	0,2	0,3	0,9	36,1	13,9	2,0
	TOTAL	376,0	18,6	0,9	7,4	2,0	3,5	2,5	11,0	341,2	194,4	47,7
TOTAL PRIMAVERA		321,5	14,7	0,6	6,6	1,6	3,1	1,6	7,6	309,2	143,4	19,4
TOTAL VERÃO		416,9	18,0	0,7	5,9	2,1	2,3	2,0	10,6	362,4	113,5	21,4
TOTAL OUTONO		284,8	12,1	0,6	4,0	1,4	2,9	1,6	7,0	228,5	76,6	45,9
TOTAL INVERNO		90,1	3,5	0,2	1,7	0,5	0,7	0,6	2,2	79,9	26,5	4,7
SERAPILHEIRA TOTAL		1113,2	48,2	2,0	18,2	5,6	9,0	5,9	27,3	979,9	359,9	91,3

TABELA 19. QUANTIDADE MÉDIA ESTACIONAL E ANUAL DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE SERAPILHEIRA DA FLORESTA SECUNDÁRIA INTERMEDIÁRIA (FS4) NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

FRAÇÃO	ESTAÇÃO	kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹							g.ha ⁻¹ .ano ⁻¹			
		C	N	P	Ca	Mg	K	Al	Cu	Mn	Fe	Zn
Órgãos Reprodutivos	Primavera	4,72	0,22	0,01	0,08	0,02	0,04	0,01	0,10	8,64	1,31	0,21
	Verão	4,41	0,23	0,01	0,05	0,02	0,05	0,02	0,10	3,62	0,99	1,10
	Outono	1,30	0,07	0,00	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03	1,20	0,36	0,06
	Inverno	1,85	0,08	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,09	2,09	0,47	0,13
	TOTAL	12,3	0,6	0,03	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	15,6	3,1	1,5
Folhas Diversas	Primavera	176,06	7,64	0,29	3,10	0,80	1,32	0,60	4,17	252,01	34,79	8,58
	Verão	191,73	9,54	0,34	4,93	0,96	1,29	0,81	4,07	396,58	78,72	9,88
	Outono	154,40	7,02	0,19	3,19	0,69	1,00	0,52	2,33	190,11	48,02	15,72
	Inverno	124,14	6,07	0,15	2,50	0,56	1,07	0,24	2,06	197,95	29,22	5,24
	TOTAL	646,3	30,3	1,0	13,7	3,0	4,7	2,2	12,6	1036,7	190,8	39,4
Ramos	Primavera	48,54	1,52	0,06	1,04	0,23	0,33	0,10	1,25	110,05	11,07	3,51
	Verão	53,80	1,75	0,07	0,94	0,22	0,26	0,19	3,45	87,39	11,52	5,55
	Outono	62,67	1,67	0,07	1,06	0,25	0,24	0,15	1,25	84,04	10,36	2,60
	Inverno	77,13	2,81	0,08	1,43	0,29	0,52	0,27	1,32	62,87	12,68	2,62
	TOTAL	242,1	7,7	0,3	4,5	1,0	1,4	0,7	7,3	344,4	45,6	14,3
Miscelânea	Primavera	43,07	2,21	0,08	0,88	0,22	0,33	0,11	1,24	91,39	7,13	3,16
	Verão	49,37	2,53	0,10	1,11	0,24	0,29	0,17	1,50	91,62	19,58	2,69
	Outono	70,03	3,43	0,13	1,66	0,33	0,51	0,38	1,45	91,18	22,65	3,35
	Inverno	89,21	4,31	0,16	1,92	0,42	0,97	0,26	1,81	127,80	19,67	3,37
	TOTAL	251,7	12,5	0,5	5,6	1,2	2,1	0,9	6,0	402,0	69,0	12,6
TOTAL PRIMAVERA		272,40	11,58	0,44	5,10	1,27	2,03	0,82	6,77	462,10	54,30	15,46
TOTAL VERÃO		299,31	14,04	0,52	7,03	1,44	1,89	1,19	9,12	579,21	110,81	19,22
TOTAL OUTONO		288,39	12,18	0,39	5,93	1,27	1,77	1,06	5,07	366,53	81,39	21,73
TOTAL INVERNO		292,33	13,27	0,40	5,88	1,27	2,59	0,78	5,28	390,73	62,05	11,35
SERAPILHEIRA TOTAL		1152,4	51,1	1,8	23,9	5,3	8,3	3,8	26,2	1798,6	308,5	67,8

TABELA 20. QUANTIDADE MÉDIA ESTACIONAL E ANUAL DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE SERAPILHEIRA DA FLORESTA SECUNDÁRIA MAIS NOVA (FS5) NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

FRAÇÃO	ESTAÇÃO	kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹							g.ha ⁻¹ .ano ⁻¹			
		C	N	P	Ca	Mg	K	Al	Cu	Mn	Fe	Zn
Órgãos Reprodutivos	Primavera	24,2	1,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,3	3,4	4,6	0,4
	Verão	10,5	0,4	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	1,5	2,0	0,2
	Outono	2,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,0
	Inverno	3,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,6	0,1
	TOTAL	40,2	1,6	0,0	0,4	0,2	0,2	0,0	0,6	5,7	7,7	0,7
Folhas Diversas	Primavera	504,6	20,7	0,4	3,8	2,2	1,8	1,6	8,9	372,5	140,6	30,6
	Verão	845,1	35,7	0,6	6,3	3,7	2,9	2,7	14,7	619,4	233,9	51,0
	Outono	57,3	2,2	0,1	1,0	0,3	0,4	0,2	1,0	43,0	16,3	3,4
	Inverno	155,1	6,5	0,2	2,8	0,7	1,0	0,6	2,8	115,7	43,9	9,1
	TOTAL	1562,1	65,1	1,3	14,0	6,8	6,1	5,1	27,4	1150,5	434,7	94,1
Ramos	Primavera	43,1	1,2	0,1	0,5	0,2	0,4	0,2	1,0	13,8	14,5	2,2
	Verão	61,5	1,8	0,1	0,7	0,3	0,5	0,2	1,4	19,7	20,7	3,1
	Outono	5,7	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	1,8	1,9	0,3
	Inverno	28,9	0,9	0,1	0,4	0,1	0,2	0,1	0,6	9,2	9,7	1,6
	TOTAL	139,1	4,0	0,3	1,5	0,6	1,2	0,5	3,2	44,5	46,8	7,2
Miscelanea	Primavera	485,9	20,8	1,2	3,3	1,7	3,7	0,8	17,0	94,4	93,4	18,1
	Verão	808,1	35,2	1,9	5,4	2,7	5,9	1,3	28,5	157,9	156,2	29,2
	Outono	55,7	2,5	0,1	0,7	0,2	0,3	0,1	1,9	10,8	10,7	2,2
	Inverno	149,8	6,7	0,2	2,0	0,7	0,8	0,2	5,2	29,0	28,6	5,9
	TOTAL	1499,6	65,1	3,4	11,4	5,3	10,7	2,3	52,7	292,1	288,8	55,4
TOTAL PRIMAVERA		1057,9	43,7	1,7	7,8	4,3	5,9	2,6	27,2	484,1	253,1	51,4
TOTAL VERÃO		1725,2	73,1	2,6	12,4	6,7	9,5	4,2	44,8	798,5	412,8	83,5
TOTAL OUTONO		121,0	4,9	0,2	1,9	0,5	0,7	0,3	3,1	55,9	29,3	6,0
TOTAL INVERNO		336,9	14,2	0,4	5,2	1,5	2,0	0,8	8,7	154,3	82,9	16,5
SERAPILHEIRA TOTAL		3241,0	135,9	4,9	27,3	12,9	18,1	7,9	83,8	1492,8	778,1	157,4

TABELA 21. QUANTIDADE MÉDIA ESTACIONAL E ANUAL DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE SERAPILHEIRA DA FLORESTA SECUNDÁRIA MAIS NOVA (FS6) NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

FRAÇÃO	ESTAÇÃO	kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹							g.ha ⁻¹ .ano ⁻¹			
		C	N	P	Ca	Mg	K	Al	Cu	Mn	Fe	Zn
Órgãos Reprodutivos	Primavera	41,3	1,0	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,6	8,0	5,7	0,9
	Verão	81,3	2,1	0,1	0,9	0,2	0,4	0,3	1,1	17,9	16,3	1,9
	Outono	89,5	3,0	0,2	1,0	0,3	0,7	0,3	1,4	24,8	13,0	2,5
	Inverno	99,2	3,1	0,2	1,8	0,3	1,1	0,4	1,5	18,1	23,8	2,6
	TOTAL	311,2	9,2	0,6	4,0	0,9	2,4	1,0	4,6	68,8	58,8	7,9
Folhas Diversas	Primavera	133,9	4,5	0,2	3,2	0,6	0,9	0,6	2,8	126,9	40,5	13,0
	Verão	136,7	4,5	0,2	3,8	0,6	1,0	0,7	2,8	140,2	47,4	6,2
	Outono	115,0	3,8	0,2	2,8	0,5	0,9	0,4	2,2	134,4	33,7	9,8
	Inverno	128,1	4,7	0,2	3,9	0,6	0,7	0,7	2,3	175,9	44,4	5,8
	TOTAL	513,7	17,5	0,7	13,6	2,4	3,5	2,3	10,0	577,3	166,1	34,9
Ramos	Primavera	46,6	1,1	0,0	0,8	0,2	0,3	0,1	1,3	41,4	10,2	2,7
	Verão	63,9	1,7	0,1	1,0	0,3	0,4	0,2	1,6	93,9	10,6	9,9
	Outono	53,4	1,3	0,1	1,2	0,2	0,3	0,2	1,4	53,9	9,0	2,8
	Inverno	58,3	1,6	0,1	1,5	0,2	0,6	0,2	1,1	59,2	12,1	2,9
	TOTAL	222,2	5,8	0,2	4,5	0,9	1,5	0,8	5,4	248,4	41,9	18,3
Miscelânea	Primavera	130,0	5,1	0,3	3,2	0,6	1,0	0,6	3,1	96,7	52,9	7,0
	Verão	134,4	5,6	0,3	3,2	0,6	0,9	0,8	3,2	106,8	45,0	6,6
	Outono	112,4	4,6	0,3	3,0	0,5	0,7	0,6	2,5	64,9	47,5	6,3
	Inverno	127,2	5,3	0,3	3,5	0,6	1,3	0,8	3,2	77,4	63,2	13,3
	TOTAL	504,0	20,5	1,1	12,8	2,3	3,9	2,7	12,0	345,9	208,6	33,3
TOTAL PRIMAVERA		351,8	11,8	0,6	7,6	1,5	2,4	1,3	7,7	273,0	109,4	23,7
TOTAL VERÃO		416,2	13,9	0,6	8,8	1,8	2,6	1,9	8,7	358,7	119,3	24,8
TOTAL OUTONO		370,3	12,6	0,7	7,9	1,5	2,6	1,5	7,5	278,0	103,2	21,5
TOTAL INVERNO		412,8	14,6	0,7	10,7	1,7	3,6	2,1	8,0	330,7	143,5	24,5
SERAPILHEIRA TOTAL		1551,2	52,9	2,6	35,0	6,5	11,2	6,9	31,9	1240,4	475,4	94,4

As quantidades transferidas de nutrientes pela serapilheira de florestas tropicais no Brasil estabelecidas por Dantas e Phillipson (1989), para N, P, K, Ca e Mg são as seguintes: 74–156; 1-3,4; 13-26; 18-76 e 1-29 kg.ha⁻¹, respectivamente. Neste estudo, as áreas FS1, FS3 e FS6 (51; 48 e 52 kg.ha⁻¹, respectivamente) ficaram abaixo do limite estabelecido para N. Para os sítios FS2, FS4 e FS5 (3,7; 5 e 5 kg.ha⁻¹, respectivamente) estão acima dos valores estabelecidos para P. Ainda, os valores encontrados para os sítios mais novos estão acima dos encontrados por Dickow (2012) e Bianchin (2013) em áreas iniciais (3 kg.ha⁻¹ de P cada um). Os sítios FS1, FS3 e FS6 ficaram abaixo do limite estabelecido para K com 8, 9 e 11 kg.ha⁻¹, respectivamente. As quantidades de Ca e Mg, para todos os sítios, ficaram dentro do limite estabelecido por Dantas e Phillipson (1989). A maior quantidade de Mg na área FS4 com 22 kg.ha⁻¹, ficou próxima ao encontrado em estágio de sucessão intermediário, por Bianchin (2013), que foi de 24 kg.ha⁻¹.

Dentre os macronutrientes, a ordem geral de restituição de nutrientes ao solo foi a seguinte: C>N>Ca>K>Mg>Al>P, para FS2, FS4 e FS6. Nos sítios FS3 e FS5 a sequência foi: C>N>Ca>K>Al>Mg>P e na área FS1 C>N>Ca>Mg>K >Al>P. Rocha (2006) e Souza & Davide (2001) encontraram a sequência Ca>N>Mg>K>P em áreas de Floresta Atlântica e atribuíram o resultado aos galhos finos, com alta concentração deste nutriente, superando a concentração de N. Por outro lado, a sequência C>N>Ca>Mg>K>P>Na foi encontrada por Silva (1984) e Bertalot et al. (2004) em áreas de floresta de terra firme na Amazônia; e em plantios de leguminosas, respectivamente.

O aporte anual de grande parte dos nutrientes em função das frações apresentou a seguinte ordem: miscelânea>folhas>ramos>órgãos reprodutivos, para as áreas FS1 e FS2. A sequência folhas>miscelânea>ramos>órgãos reprodutivos foi encontrada para FS4 e FS5 e por fim folhas>miscelânea>órgãos reprodutivos>ramos foi a ordem para FS3 e FS6.

Na literatura, em áreas de florestas secundária da Floresta Atlântica, encontram-se sequências variadas no aporte de nutrientes. Rocha (2006) e Dickow (2010) obtiveram a ordem: ramos>miscelânea>folhas>órgãos reprodutivos. Bianchin (2013) obteve folhas>miscelânea>ramos>órgãos

reprodutivos e Calvi et al. (2009) encontraram a sequência de aporte de nutrientes: folhas>ramos>material reprodutivo>restos. Segundo os autores, a maior deposição da fração ramos em relação aos órgãos reprodutivos e restos refletiu num maior aporte de nutrientes por essa fração.

Dentre os micronutrientes, a ordem geral de restituição de nutrientes ao solo foi a seguinte: Mn>Fe>Zn>Cu. A mesma ordem de aporte de micronutrientes foi identificada nos estudos de Silva (1984), Dickow (2010) e Bianchin (2013). Especialmente em FS5, nas frações galhos e miscelânea, a quantidade de Fe foi igual àquela de Mn, e foi superior nos órgãos reprodutivos. Em geral, o aporte anual de grande parte dos micronutrientes em função das frações apresentou a seguinte ordem: miscelânea>ramos>folhas>órgãos reprodutivos.

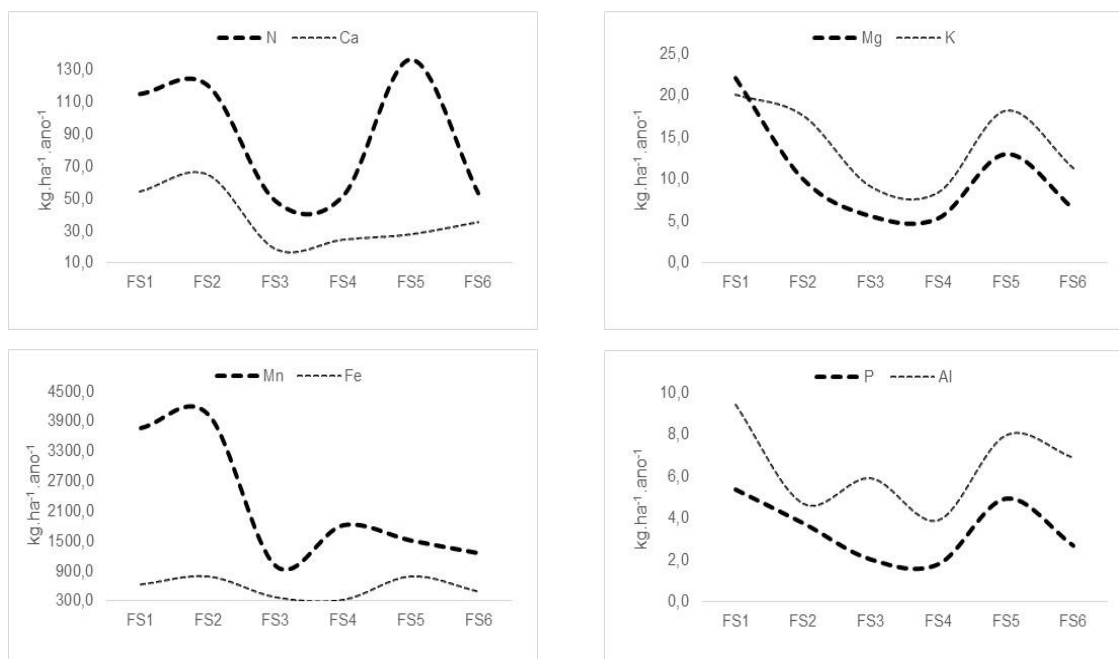
A sequência para a quantidade total de nutrientes aportada nos diferentes sítios foi FS1>FS2>FS5>FS6>FS4>FS3, sendo que os maiores aportes foram observados no verão e primavera, o que está relacionado com a quantidade de serapilheira depositada nessas estações. Esse padrão de deposição de nutrientes também foi observado em outros estudos envolvendo sucessão secundária de Floresta Atlântica (BARBOSA & FARIA, 2006; CALVI et al., 2009).

Neste estudo, as quantidades totais de macronutrientes depositadas foram 216, 216, 83, 90, 199 e 108 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ nas áreas FS1, FS2, FS3, FS4, FS5, FS6, respectivamente, e de acordo com a literatura as áreas FS3, FS4 e FS6 estão abaixo das quantidades totais encontradas por outros autores. Dickow (2010) em Floresta Ombrófila Densa Submontana do litoral do PR e Leitão Filho et al. (1993) na mesma formação, porém no estado de SP, encontraram 139,8, 138,9 e 154,4 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ nas fases inicial, média e avançada e 150 kg.ha⁻¹.ano⁻¹, respectivamente. Em Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas no Paraná, Wisniewski et al. (1997) encontraram em três fases sucessionais 118, 155 e 178 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ e Pires (2001) em uma área de restinga no Paraná a quantidade foi de 154 kg.ha⁻¹.ano⁻¹. Já em FOD Altomontana primária no Paraná, Portes et al., (1998) encontraram valores próximos a 142 kg.ha⁻¹.ano⁻¹.

Foi observado para o Fe, e especialmente de Mn aporte elevado. No caso do Mn, foi observado que na floresta secundária mais velha, as quantidades deste elemento são superiores aos analisados nas outras parcelas de estudo, bem como os resultados encontrados por Bianchin (2013), corroborando com outros autores, que encontraram quantidades altas desse micronutriente na serapilheira (BRITEZ, 1994; 2006; ROCHA, 2006; SCHEER, 2006; DICKOW, 2010).

Sobre esse aumento sugerem-se duas hipóteses que são complementares a discussão. A primeira é referente ao pH do solo, que é extremamente ácido, e os baixos valores de pH favorecem a absorção deste elemento (MALAVOLTA, 1980), o que estaria promovendo sua absorção pelas plantas. A segunda seria que este elemento seja de lenta liberação da fitomassa depositada sobre o solo e assim, aumentaria a sua acumulação contribuindo para aumento dos estoques deste elemento no solo florestal, em longo prazo.

A Figura 6 compara a quantidade total de nutrientes aportado e o comportamento nos seis sítios em estudo.



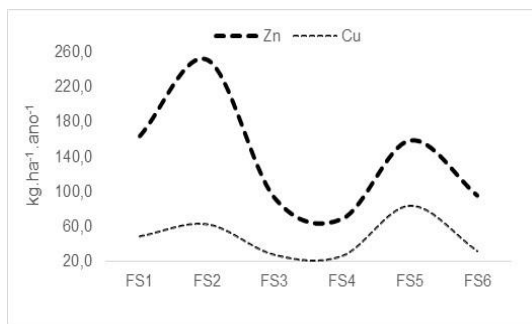


FIGURA 6. COMPARAÇÃO DO APORTE DE NUTRIENTES EM SEIS FORMAÇÕES SECUNDÁRIAS EM FLORESTA OMBRÓFILA DENSE SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

Os sítios FS1 e FS2, de uma maneira geral, apresentaram o maior aporte de nutrientes, sendo Ca, Mn e Zn na primeira e P, Mg, K e Al na última. Ainda, o sítio FS5 aportou mais C, N, Cu e Fe. O sítio FS6 foi intermediário no aporte e os sítios FS3 e FS4 inferiores. Desta forma, a idade do estágio sucessional teve contribuição no aporte de nutrientes e alumínio, sendo que, as áreas mais avançadas contribuíram para o maior aporte de boa parte dos nutrientes. O sítio FS5 também se destacou no aporte, principalmente de C e N, e pode estar relacionado à quantidade de fitomassa depositada ao longo do ano. No aporte de Al, as áreas mais novas, FS1 e FS3 concentraram os maiores teores, que por sua vez, ocorre devido a existência de um número maior de espécies das famílias acumuladoras de Al.

Do ponto de vista fitossociológico, os sítios que mais aportaram nutrientes tiveram relação com os maiores índices de diversidade, estrutura florística bem desenvolvida e com grande número de espécies em sua composição. Por outro lado, as áreas FS5 e FS6, menos desenvolvidas foram intermediárias, ou seja, o aporte de nutrientes nesses estágios não foi inferior, principalmente no retorno de C e N pela primeira.

4. CONCLUSÕES

A deposição total de serapilheira não foi influenciada pela idade dos estágios sucessionais e sim pela composição da serapilheira. A época mais quente e chuvosa elevou a produção total de serapilheira e, portanto, a produção variou mais em função das variáveis meteorológicas do que em função da idade do estágio sucessional.

A deposição da fração folhas total foi superior às demais frações em todos os sítios, e a produção por frações seguiu a ordem: folhas > miscelânea > ramos > órgãos reprodutivos. Entretanto, na produção das frações de serapilheira, não foi observada correlação com as variáveis meteorológicas, à exceção do sítio FS6 para a fração órgãos reprodutivos, onde esta fração apresentou correlação alta com a precipitação e temperatura.

A deposição de folhas por espécies, para grande parte dos sítios, não seguiu a ordem dos parâmetros fitossociológicos. As folhas da espécie *H. alchorneoides* foram depositadas em cinco dos seis sítios, sendo mais representativa nos sítios mais velhos, já a espécie *V. bifalcata* teve a sua deposição reduzida com o aumento da idade e por fim, as folhas das espécies *R. ferrugínea* e *T. pulchra* depositaram mais no sítio mais novo. Além disso, a espécie *P. nuda*, que dominou os valores de importância para a maioria dos sítios depositou menos que 1% das folhas por espécies nos sítios.

O retorno de nutrientes ao solo foi determinado pelo padrão de deposição das frações de serapilheira. A concentração de C foi similar entre as frações e a concentração de N aumentou com a idade do sítio e foi menor na fração ramos. Foi observada uma redução da relação C/N nos sítios, com o aumento da idade do estágio sucessional. Entretanto, as concentrações de C e N, e a relação C/N, não foram significativos para a fração folhas de espécies.

A maior contribuição para o retorno de nutrientes foi observada na fração miscelânea para os sítios e, a ordem de retorno de macronutrientes e alumínio foram: N > Ca > K > Mg > P > Al. Para a fração folhas de espécies, foram observados nos sítios FS3 e FS5, que algumas espécies acumuladoras de Al, contribuíram para elevar a concentração deste elemento nestes sítios.

No retorno de micronutrientes, a ordem geral para os sítios foi: Mn>Fe>Zn>Cu, sendo que as concentrações de Fe e Mn foram elevadas em os sítios.

O aporte de nutrientes e alumínio não foi influenciado pela idade do sítio, mas sim pelas frações de serapilheira. A ordem para o aporte de nutrientes foi: N>Ca>K>Mg>Al>P para os sítios FS2, FS4 e FS6, evidenciado que a idade não foi influenciou no aporte. Os sítios FS3 e FS5, que tiveram as maiores concentrações de Al, houve inversão entre o aporte de Mg e Al e, no sítio FS1, foi observado maior aporte de Mg do que K e Al.

No aporte das frações, as áreas mais velhas seguiram a seguinte ordem: miscelânea> folhas> ramos> órgãos reprodutivos. Para os demais sítios, a fração folhas foi a que teve maior contribuição no aporte.

A quantidade total do retorno de nutrientes para os sítios foi: F1>FS2>FS5> FS6> FS4>FS3. Portanto, os sítios mais velhos, que apresentaram maiores índices de diversidade, aportaram mais nutrientes, principalmente P, Ca, Mg, K, Mn e Zn.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência dos Solos**, v.27, n.2, p.601-612, 2003.

ALMEIDA, J.T.S. **Deposição de Serrapilheira em Áreas de Diferentes Estádios de Regeneração em um trecho de Floresta Ombrófila Densa Montana em Miguel Pereira-RJ**. 33f. Monografia Monografia (Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro), Rio de Janeiro, 2006.

BALIEIRO, F. C.; FRANCO, A.A.; PEREIRA, M.G.; DIAS, L.E.; CAMPELLO, E.F.C.; FARIA, S.M. Dinâmica da serapilheira e transferência de nitrogênio ao solo, em plantios de *Pseudosamanea guachapele* e *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.6, p.597-601, 2004.

BERTALOT, M. J. A.; GUERRINI, E. A.; MENDOZA, E.; DUBOC, E.; BERREIROS, R. M.; CORRÊA, F. M. Retorno de nutrientes ao solo via deposição de serapilheira de quatro espécies leguminosas arbóreas na região de Botucatu-SP. **Scientia Forestalis**, v.65, p.219-227, 2004.

BRITEZ, R.M. **Ciclagem de nutrientes minerais em duas florestas da planície litorânea da Ilha do Mel, Paranaguá**. 272 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

BIANCHIN, J. E. **Aporte de fitomassa e nutrientes em florestas secundárias da Mata Atlântica no litoral do Paraná**. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

BRAY, J.R.; GORHAM, E. Litter production in forests of the world. **Advances in Ecological Research**, v.2, p.101-157, 1964.

BRITEZ, R.M.; REISSMAN, C.B.; SILVA, S.M.; SANTOS FILHO, A. Deposição estacional de serapilheira e macronutrientes em uma floresta de Araucária, São Mateus do Sul, Paraná. In: 2º CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2. 1992, São Paulo. **Anais...**São Paulo: Revista do Instituto Florestal, 1992. v.4, n.3, p.766-772.

BROWN, S.; LUGO, A. The storage and production of organic matter in tropical forest and their role in the global carbon cycle. **Biotropica**, v. 14, n. 3, p.161-187, 1990.

BRUN, E. J. et al. Relação entre a produção de serapilheira e variáveis meteorológicas em três fases sucessionais de uma floresta Estacioanal Decidual no Rio Grande do sul. **Revista Brasileira Agrometeorologia**, v.9, n.2, p.277-285, 2001.

BRUN, E. J. **Dinâmica da deposição de serapilheira em três fases sucessionais de uma floresta estacional decidual em Santa Maria, RS**. Relatório de estágio supervisionado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

BARBOSA, J. H. C.; FARIA S. M. Aporte de serrapilheira ao solo em estágio sucessionais florestais na Reserva Biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguesia**, v.57, n.3, p.461-476. 2006.

BOEGER, M. R. T.; WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C. B. Nutrientes foliares de espécies arbóreas de três estádios sucessionais de Floresta Ombrófila Densa no sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.19, p.167-181, 2005.

CALVI, G. P.; PEREIRA, M. G.; ESPÍNDULA JÚNIOR, A. Produção de serapilheira e aporte de nutrientes em áreas de floresta atlântica em Santa Maria de Jetibá, ES. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 131-138, 2009.

COSTA, C.C.A.; CAMACHO, R.G.V.; MACEDO, I.D.; SILVA, P.C.M. Análise comparativa da produção de serapilheira: em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de catinga na Flona de Açú - RN. **Revista Árvore**, 34: 259-265, 2010.

CUNHA, G. C.; GRENDENE, L. A.; DURLO, M. A.; BRESSAN, D. A. Dinâmica nutricional em floresta estacional decidual com ênfase aos minerais provenientes da deposição da serapilheira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.3, n.1, p.19-39, 1993.

CUNHA, G. M.; COSTA, G, S.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; VELLOSO, A. C. X. Produção de serapilheira em florestas naturais e o povoamento de eucalipto ao entorno do Parque Estadual do Desengano, RJ. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS - FERTBIO, 2000, 24. 2000, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SBCS, UFSM, 2000. 1 CD-ROM.

DANTAS, M.; PHILLIPSON, J. Litterfall and litter nutrient content in primary and secondary Amazonian "terra firme" rain forest. **Journal of Tropical Ecology**, v.5, n.1, p.27-36, 1989.

DELITTI, W.B.C. **Aspectos comparativos da ciclagem de nutrientes na mata ciliar, no campo cerrado e na floresta implantada de Pinus elliottii Engelm. var. elliotti, Mogi Guaçu, São Paulo**. 298 f. Tese (Doutorado em Biociências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

DICKOW, K. M. C.; MARQUES, R.; PINTO, C. B. Lixiviação de nutrientes da serapilheira recém-depositada em sucessão ecológica na Floresta Atlântica, litoral do Paraná. **Floresta**, n.39, p.145-156. 2008.

DICKOW, K. M. C.; MARQUES, R.; PINTO, C. B.; HÖFER, H. Produção de serapilheira em diferentes fases sucessionais de uma floresta subtropical secundária, em Antonina, PR. **Cerne**, n. 18, p. 75-86. 2012.

DICKOW, K. M. C. **Ciclagem de fitomassa e nutrientes em sucessão secundária na Floresta Atlântica, Antonina, PR.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. 215 f.

DINIZ, S.; PAGANO, S.N. Dinâmica de folheto em floresta mesófila semidecídua no município de Araras, SP. I - Produção, decomposição e acúmulo. **Revista do Instituto Florestal**, v.9, n.1, p.27-36, 1997.

DOMINGOS, M.; POGGIANI, F.; STRUFFALDI-DE VUONO, Y.; LOPES, M.I.M.S. Produção de serapilheira na floresta da Reserva Biológica de Paranapiacaba, sujeita aos poluentes atmosféricos de Cubatão, SP. **Hoehnea**, v.17, n.1, p.47-58, 1990.

FIGUEIREDO FILHO, A., MORAES, G. F., SCHAAL, L. B., FIGUEIREDO, D. J. Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma Floresta Ombrófila Mista localizada no sul do estado do Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.13, n.1, p.11-18, 2003

FREIRE, M. **Chuva de sementes, banco de sementes do solo e deposição de serapilheira como bioindicadores ambientais no bioma Mata Atlântica, Teresópolis, RJ.** 81f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural Do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, v.26, n.2, p.193-207, 2002.

GONZALES, M. I. M.; GALHARDO, J. F. El efecto hojarasca: una revision. *Anales de Edafología y Agrobiología*, **Madrid**, v.41, p 1130- 1157, 1982.

GOLLEY, F.B.; MCGINNIS, J.T.; CLEMENTS, R.G.; CHILD, G.I.; DUEVER, M.J. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida**. São Paulo: E.P.U EDUSP, 256 p. 1978.

GOLLEY, F.B. **Tropical rain forest ecosystems: structure and function**. Amsterdam: Elsevier, 1983.

HAAG, H. (coord.) **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Campinas: Fundação Cargill, 144 p.1985.

JANSEN S.; BROADLEY M.; ROBBRECHT E.; SMETS E. Aluminium hyperaccumulation in angiosperms: a review of its phylogenetic significance. **Botanical Review**, 68: p 235-269. 2002.

KOEHLER, W. C. **Variação estacional de deposição de serapilheira e de nutrientes em povoamentos de Pinus taeda na região de Ponta Grossa, PR**. 1989. 138f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Paraná, Curitiba, 1989.

LEITÃO FILHO, H.F. **Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão**. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista; Campinas, SP: Editora da Universidade de Campinas, 184p. 1993

LUIZÃO, F.J.; SCHUBART, H.O.R. Produção e decomposição de liteira em Floresta de Terra Firme da Amazônia Central. **Acta Limnol. Brasil**. v.1, p.575-600, 1986.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 251p, 1980.

MALAVOLTA, E.; VITTI, C. G.; OLIVEIRA, A. C. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 pg. 2. ed.

MARTINS, S. V. (Org.). **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. 2a. Edição – Revista e Ampliada. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012. v. 1. 371p.

MARTINS, A. P. L.; REISSMANN, C.B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. **Scientia Agraria**, v.8, n.1, 2007.

MARTINS, S. V.; RODRIGUES, R. R. Produção de serapilheira em clareiras de uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v.22, p.405-412, 1999.

MARTINS, K.G. **Deposição e decomposição de serapilheira em uma Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas sobre solos hidromórficos na Estação Ecológica da Ilha do Mel – PR.** 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

MELO, J. T.; RESCK, D. V. S. **Retorno, ao solo, de nutrientes de serapilheira de pinus no cerrado do Distrito Federal.** Planantina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 18p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Cerrados, 75).

MENEZES, C. E. G.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; ANJOS, L. H. C.; PAULA, R. R.; SOUZA, M. E. Aporte e decomposição de serapilheira e produção de biomassa radicular em floresta com diferentes estágios sucessionais em Pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 3, p. 439-452, 2010.

MORAES, R.M.; DELITTI, W.B.; STRUFFALDI-DE-VUONO, Y. Litterfall and litter nutrient content in two Brazilian Tropical Forest. **Revista Brasileira de Botânica**, v.22, n.1, p.9-16, 1999

NEVES, E. J. M.; MARTINS, E. G.; REISSMANN, C. B. Deposição de serapilheira e de nutrientes de duas espécies da Amazônia. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.43, p.47-60, 2001. (Edição Especial).

OLIVEIRA, R.R. & NETO, A.L.C. 1999. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em três estádios sucessionais sob manejo caiçara (Ilha Grande, RJ). In **Anais...** I Congresso da Sociedade Brasileira de Botânica, Blumenau.

O'NEILL, R.V. & DE ANGELIS, D.L. Comparative productivity and biomass relations of forest ecosystems. In Dynamic properties of forest ecosystems (D. Reichle, ed.) Cambridge University Press, **Cambridge**, p.411-449, 1980.

PAGANO, S.N.; DURIGAN, G. Aspectos da ciclagem de nutrientes em Matas Ciliares do oeste do Estado de São Paulo, Brasil. In: R.R. RODRIGUES H.F. LEITÃO FILHO. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. Editora da USP/Fapesp, São Paulo, p.109-123, 2000.

PEREIRA, M.G.; MENEZES, L.F.T.; SCHULTZ, N. Aporte e decomposição da serapilheira na Floresta Atlântica, Ilha da Marambaia, Mangaratiba, RJ. **Ciência Florestal**, v.18, n.4, p.443-454, 2008.

PEREIRA, M. G.; SILVA, A. N.; PAULA, R. R. & MENEZES, L. F. T. Aporte e decomposição de serapilheira em floresta periodicamente inundável na restinga da Marambaia, RJ. **Ciência Florestal**, 22(1): 56-67, 2012.

PEZZATTO, A. W. **Composição florística e ciclagem de macronutrientes em diferentes seres sucessionais de reservatório de hidrelétrica no Oeste do Paraná**. 166 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

PIRES, L.A.; BRITEZ, R.M.de; MARTEL, G.; PAGANO, S.N. Produção e acúmulo e decomposição da serapilheira em uma restinga da Ilha do Mel, Paranaguá, PR, Brasil. **Acta bot. bras.** v.20, n.1, p.173-184, 2006.

PINTO, C. B. **Contribuição de espécies arbóreas para a ciclagem de nutrientes em sucessão vegetal na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas**. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

PINTO, C.B.; MARQUES, R. Aporte de nutrientes por frações da serapilheira em sucessão ecológica de um ecossistema da Floresta Atlântica. **Revista Floresta**, v.33, n.3, p.257-264, 2003.

PINTO, S.I.C.; MARTINS, S.V.; BARROS, N.F.; DIAS, H.C.T. Produção de serapilheira em dois estádios sucessionais de Floresta Estacional Semidecidual

na Reserva Mata do Paraíso, em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v.32, n.3, p.545-556, 2008.

PORTES, M.C.G. de O.; KOEHLER, A.; GALVÃO, F. Variação sazonal da deposição de serapilheira em uma Floresta Ombrófila Densa Altomontana no morro do Anhangava – PR. **Revista Floresta**, v.26, p.3-10, 1998.

PROCTOR, J.; PHILLIPS, C.; DUFF, G.K.; HEANEY, A.; ROBERTSON, F.M. Ultrabasic mountain in Sabah, Malaysia. II. Some forest processes. **Journal of Ecology**, v.77, n.1, p.317-331, 1989.

ROCHA, A.A. **Deposição de fitomassa e nutrientes, acumulação e decomposição de serapilheira em três tipologias da Floresta Atlântica, Paranaguá, PR.** 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SANTOS, S. L.; VÁLIO, I. F. M. Litter accumulation and its effect on seedling recruitment in Southeast Brazilian Tropical Forest. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.25, n.1, p. 98-92, 2002.

SCHEER, M.B. **Ciclagem de nutrientes em um trecho de Floresta Ombrófila Densa Aluvial em regeneração Guaraqueçaba, PR.** 155 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas.** Brasília: MEC; ABEAS; ESAL; FAEPE, 1988. 236p.

SCHUMACHER, M. V. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torrelliana* F. Mesell.** 1992. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1992.

SILVA, M. F. F. Produção anual de serapilheira e seu conteúdo mineralógico em mata tropical de terra firme, Tucuruí-PA. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém, v.1, n.1/2, p.111-158, 1984

SILVA, S. M.; BRITZ, R. M. A vegetação da Planície Costeira. In: MARQUES, M. C. M.; BRITZ, R. M. (Org.). **História Natural e conservação da Ilha do Mel**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005.p.49-84.

SONGWE, N.C., FASEHUN, F.E., OKALI, D.U.U. Litterfall and productivity in a tropical rains forest, southern Bankundu forest, Cameroon. **Journal Tropical Ecology**, 4:25-37, 1988.

SOUZA, J. A.; DAVIDE, A. C. Deposição de serrapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 101-113, Jan./Mar. 2001.

TAYLOR, B.R.; PARKINSON, D.; PARSONS, W.F.J. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosmo test. **Ecology**, v.70, n.1, p.97-104, 198.

TOLEDO, L. O. PEREIRA, M. G. MENEZES, C. E. G. Produção de serrapilheira e transferência de nutrientes em florestas secundárias localizadas na região de Pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, n.2, p.9-16, 2002.

VITAL, A. R. T. Produção de serrapilheira e ciclagem de nutrientes de uma Floresta Estacional Semidecidual em Zona Ripária. **Revista Árvore**, v.28, n.6, p.793-800, 2004.

VITOUSEK, P.M.; SANFORD JR., R.L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.17, p.137-167, 1986.

WISNIEWSKI, C.; ZILLER, S. R.; CURCIO, G. R.; RACHWAL, M. F.; TREVISAN, E.; SOUZA, J. P. **Caracterização do ecossistema e estudo das relações solo cobertura vegetal em planície pleistocênica do litoral paranaense**. Curitiba: Ed. Imprensa da UFPR, 1997.

CAPÍTULO II

ACÚMULO DE SERAPILHEIRA E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSE SUBMONTANA DO LITORAL DO PARANÁ

RESUMO

Este trabalho teve por finalidade avaliar o acúmulo de serapilheira e sua distribuição espacial sazonal em sucessão secundária da Floresta Ombrófila Densa Submontana do litoral do Paraná. Foram realizadas coletas semestrais de serapilheira acumulada em 25 pontos sistematizados dentro de seis sítios, dois em florestas secundárias mais velhas (FS1 e FS2), dois em florestas secundárias intermediárias (FS3 e FS4) e dois em florestas secundárias mais novas (FS5 e FS6), no final das estações verão e inverno dos anos de 2013 e 2014. Foi determinado o peso seco das amostras de serapilheira, que foi separada nas frações ramos, órgãos reprodutivos, miscelânea, folhas em decomposição e folhas recém caídas. Para a análise espacial foi utilizado o software Arc-Gis® onde uma função bidimensional realizou a contagem dos pontos amostrados dentro de uma região de influência, ponderando-os pela distância de cada um à localização de interesse. A técnica de interpolação utilizada foi a de densidade de *Kernel*, que consiste numa transformação e distribuição de observações em uma superfície de densidade para a identificação visual da ocorrência do agrupamento, indicando os locais de aglomeração. A acumulação de serapilheira total se mostrou superior em um dos sítios mais velhos; e no período invernal para todos os sítios. A fração folhas em decomposição foi a que apresentou os maiores valores de acúmulo. Os coeficientes de variação nas áreas foram elevados para as frações órgãos reprodutivos, folhas recém caídas e ramos; e os mapas ajudaram a identificar regiões de maior e menor acúmulo nos sítios. As demais frações de serapilheira acumulada tiveram distribuição espacial regular, sem influência da idade e da época de coleta. O carbono no solo foi maior nas áreas que menos acumularam serapilheira, mas isto não reflete totalmente um efeito da vegetação atual. Os mapas ajudaram a identificar nos sítios as áreas de maior

acumulação deste elemento no solo. Como prosseguimento desta pesquisa, sugere-se a integração dos dados de alguns fatores abióticos (variação do relevo e atributos do solo, p.e.), da distribuição espacial da vegetação e de seus atributos nos sítios. Isto contribuiria para melhor entender as causas da variabilidade espacial na acumulação de serapilheira e, adicionalmente, ajudaria a compreender melhor a dinâmica de deposição/decomposição da serapilheira nos diferentes sítios.

Palavras chaves: Floresta Atlântica, florestas secundárias, serapilheira acumulada, interpolação.

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the litterstock and its seasonal distribution on six sites of a secondary succession of Submontane Dense Rainforest on the coast of Paraná state, Brazil. Biannual collections (at the end of the summer and winter seasons of the years 2013 and 2014) were held on 25 systematized points within the sites, two at older secondary forests (FS1 and FS2), two at intermediate secondary forests (FS3 and FS4) and two at young secondary forests (FS5 and FS6). It was determined the dry weight of the litter samples, which was separated into the fractions: branches, reproductive organs, miscellaneous, decaying leaves and freshly fallen leaves. For spatial analysis, we used the Arc-Gis® software where a two-dimensional function performed the count of the points within a region of influence, considering them the distance of each from the location of interest. The interpolation technique used was the kernel density, which is a processing and distribution of observations in a surface density for visual identification of the occurrence of the grouping, indicating agglomeration sites. The total litterstock showed to be highest on one of the oldest sites, and during the winter season for all sites. The fraction decaying leaves presented the highest accumulation among all the litter fractions. It was observed a high spatial variability for the accumulation of reproductive organs, freshly fallen leaves and branches indicating areas of lower and higher accumulation in the sites. The other litter fractions showed a regular distribution, without influence of the season or of the forest age. The carbon in the soil was highest on the young forest areas but this can't be

attributed to the present vegetation. The maps helped to identify on the sites the areas where carbon content was concentrated. As further steps, after this research, it's suggested the integration of a data set of some abiotic factors (relief variation and soil attributes e.g), and of the vegetation spatial distribution and vegetation attributes. This approach would contribute to a better understanding of the spatial variability of the litterstock as well of the dynamics of litter accumulation/decomposition on the different sites.

Key words: Atlantic Forest, secondary forests, litterstock, interpolation.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Acúmulo de serapilheira em florestas

Os ecossistemas florestais tropicais habitualmente apresentam produção contínua de serapilheira no decorrer do ano, sendo que a quantidade produzida nas diferentes épocas depende do tipo de vegetação considerada (LEITÃO-FILHO et al., 1993; RODRIGUES & LEITÃO FILHO, 2001).

O acúmulo de serapilheira apresenta diversas funções, dentre as quais se destacam a ação como isolante térmico, a amenização de efeitos erosivos, e a filtragem e armazenamento de água proveniente da atmosfera que penetra no solo, contribuindo para a redução da evaporação e para a manutenção de um microclima estável na superfície do solo (SANTOS, 1989).

A serapilheira acumulada no solo corresponde a todo material de origem vegetal que é depositado sobre a superfície do solo representando um reservatório de nutrientes e de matéria orgânica que influencia e regula muitos processos funcionais dos ecossistemas (LOPES et al., 1990).

A permanência da serapilheira na floresta, em contato com o solo, faz com que esta seja reaproveitada no ciclo de nutrientes do ecossistema, através da decomposição da mesma e liberação dos minerais constituintes para uma posterior reabsorção pelas raízes das plantas, garantindo assim que, além das relações mútuas entre solo-planta, sejam estabelecidas as relações floresta-solo-microfauna, o que vem a possibilitar a explicação para a existência de

florestas em áreas com solos de baixa fertilidade (KLEINPAUL et al., 2003). Além disso, a compreensão acerca da ciclagem de nutrientes é fundamental para o entendimento da dinâmica dos ecossistemas, uma vez que envolve o conhecimento do estoque e do fornecimento dos nutrientes à vegetação (DOMINGOS et al., 1997). Assim, a serapilheira que se deposita continuamente sobre a superfície do solo assume grande importância, uma vez que representa o estoque potencial de nutrientes para a vegetação (LOUZADA et al., 1995; RICHARDS, 1991).

De acordo com Meguro et al. (1979), o acúmulo de serapilheira em florestas sucessionais tropicais úmidas pode alcançar valores mais altos do que em florestas maduras, pois nas florestas sucessionais, em geral, ocorre maior número de espécies decíduas, além de mudanças na composição florística. Assim, a taxa de acumulação de serapilheira é elevada no período de maior crescimento do povoamento, estabilizando-se com a maturidade da floresta.

Dentre os fatores bióticos que afetam o acúmulo de serapilheira, citam-se o tipo de vegetação e sua estrutura (PORTES et al., 1996; FIGUEIREDO FILHO et al., 2003). Deste modo, estudos fitossociológicos apresentam-se como uma importante ferramenta na compreensão da dinâmica da deposição de serapilheira. A taxa de transferência da matéria orgânica da biomassa epígea para a superfície do solo e a sua evolução temporal pode refletir o estado de funcionamento do ecossistema, possibilitando estudos comparativos (RIBEIRO et al., 2001).

Desta forma, são importantes os estudos sobre o acúmulo de serapilheira de florestas, bem como sua composição e distribuição, tornando-se um subsídio para a compreensão sobre a reposição de nutrientes no solo e consequentemente na ciclagem biogeoquímica de ecossistemas florestais.

1.2 Análise do padrão espacial em áreas florestais

Muitas pesquisas referentes ao acúmulo de serapilheira em diversas tipologias florestais refletem principalmente a quantidade de fitomassa

acumulada (total e frações), a variação temporal desse acúmulo e a restituição nutricional (LEITÃO-FILHO et al., 1993; CALDATO E BOHNER, 1999; RODRIGUES & LEITÃO FILHO, 2001; FLOSS, SANQUETTA et al. 2002; CALDEIRA et al., 2007; DICKOW, 2010; MATEUS et. al., 2012). Entretanto, não existem estudos em florestas tropicais, relativos à distribuição espacial desta biomassa acumulada (total e frações) e de sua variação com as estações do ano. Sabe-se que a estrutura da floresta, a composição florística e os aspectos físicos das áreas, tais como: relevo, tipos e características dos solos, precipitação, influenciam diretamente nas taxas de decomposição, porém todas essas variáveis, dependendo da sistematização da coleta, podem gerar quantidades diferentes de biomassa produzida, e deste modo incidirem em diferentes taxas de decomposição num mesmo local.

Na análise espacial são considerados três tipos de dados: eventos ou processos pontuais; superfícies contínuas; e áreas com contagens e taxas agregadas. Em ecologia florestal, uma grande aplicação dos estudos de padrão de processos pontuais relaciona-se à distribuição espacial de árvores principalmente em ambiente natural, o que pode fornecer informações sobre a ecologia das espécies de interesse, subsidiar a definição de estratégias de manejo e/ou, conservação, auxiliarem processos de amostragens ou simplesmente esclarecer sobre a estrutura espacial de espécies (ANJOS et al., 1998).

Entre os objetivos de uma análise espacial está a interpolação, ou seja, o procedimento de estimar o valor de uma variável em pontos não amostrados, por meio de valores conhecidos. O objetivo desta análise não foi avaliar se há a ocorrência da dependência espacial das variáveis em estudo, mas sim gerar uma visão elementar (inicial) da variabilidade da distribuição espacial sazonal da serapilheira acumulada e de suas frações em cada uma das áreas. Nos modelos convencionais da geoestatística, por exemplo, com o objetivo de verificar a espacialidade de atributos químicos do solo é exigida uma amostragem sistematizada com um grande número de pontos (observações). Quanto maior o número de pontos amostrais e quanto a menor distância entre eles, melhor serão os modelos ajustados e que representam se há ou não a

dependência espacial entre essas variáveis de interesse. Nesse estudo foram sistematizados 25 pontos amostrais por parcela, o que na prática, seria pouco para a realização de análise de dependência espacial confiável.

A função K de Ripley é uma estatística descritiva do padrão espacial sendo uma das ferramentas mais apropriadas para análises do padrão espacial, de florestas, sobretudo quando os dados são apresentados sob a forma de mapas de vegetação, sendo desconhecidas as coordenadas das árvores. Foi originalmente introduzido por Ripley um método que propicia uma descrição efetiva de um padrão pontual em determinada área, ou seja, verifica se os eventos estão distribuídos ao acaso, se encontram em padrão de regularidade, ou se há aglomerados específicos, sendo tal análise possível para uma variedade de escalas espaciais (ASSUNÇÃO; LOPES, s.d.)

Ainda que a maioria dos estudos com aplicação da função K seja encontrada em florestas temperadas, tem sido crescente a sua aplicação em florestas tropicais. Vários estudos aplicando a função de K são utilizados, tais como para verificar o padrão espacial de regeneração (XI et al., 2008); o arranjo da distribuição espacial de áreas (BATISTA & MAGUIRE, 1998) ou de espécies, como o Jequitibá-rosa (*Cariniana legalis*) (PEREIRA et al., 2006) ou de *Araucaria angustifolia* (ANJOS et al., 2004); avaliar impacto do manejo sustentável de áreas (ANJOS et al., 1998); padronizar espacialmente diferentes formações para espécies mais abundantes (CAPRETZ et al., 2004) ou para diferentes regimes de tratamentos silviculturais (CAPRETZ et al., 2003).

A composição florística e o estágio sucessional de florestas influenciam diretamente o acúmulo de material vegetal sobre o solo (GODINHO et al., 2013). Em grandes áreas esse acúmulo pode ser muito variável e, portanto, os fatores que atuam sobre a taxa de decomposição podem também ser variáveis de acordo com a distribuição da serapilheira. Assim, o conhecimento de um possível padrão de deposição dentro das áreas e em cada estágio de sucessão pode refletir se existem e quais são fatores atuantes, como também se há alguma detecção de como pode ocorrer essa repartição do material acumulado dentro das áreas.

A variação espacial sazonal na quantidade de serapilheira por unidade de área, pode também ajudar a identificar alguma tendência sazonal em seu acúmulo. Como já relatado, os valores da produção de serapilheira podem apresentar variabilidade espacial devido à composição florística e às diferentes características edáficas da área de estudo, bem como uma variabilidade temporal associada à dinâmica dos processos de produção e de sazonalidade. Portanto, estudos da distribuição espacial da serapilheira em áreas em estágio de sucessão são importantes para a compreensão do acúmulo e distribuição desta nas áreas.

Os objetivos desse estudo foram: a) quantificar o acúmulo de serapilheira total e de suas frações, assim como avaliar o efeito sazonal (verão e inverno) sobre esta acumulação em seis sítios florestais em estágio sucessional secundário com diferentes idades do litoral paranaense; b) gerar mapas da distribuição espacial de serapilheira acumulada e de suas frações; e do carbono em três profundidades no perfil do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Procedimentos gerais

Nos seis sítios em áreas de formações florestais secundárias (FS) em diferentes idades, denominados de **FS1**; **FS2**; **FS3**; **FS4**; **FS5** e **FS6**, foi realizado o procedimento para a coleta da serapilheira acumulada usando um gabarito de 50 cm por 50 cm (0,25 m²) (Figura 7), em fevereiro e agosto/2013 e março e julho/2014.



FIGURA 7. GABARITO UTILIZADO NA COLETA SISTEMATIZADA DE SERAPILHEIRA ACUMULADA.

Em cada data de coleta foi coletado o material orgânico em 25 pontos sistematizados em cada fase sucessional, totalizando 150 amostras (Figura 8). Essas coletadas foram realizadas aproximadamente nos mesmos locais de amostragem (centro da subparcelas), e os valores acumulados da serapilheira foram agrupados em $Mg.ha^{-1}$, durante as estações do verão e de inverno dos dois anos.

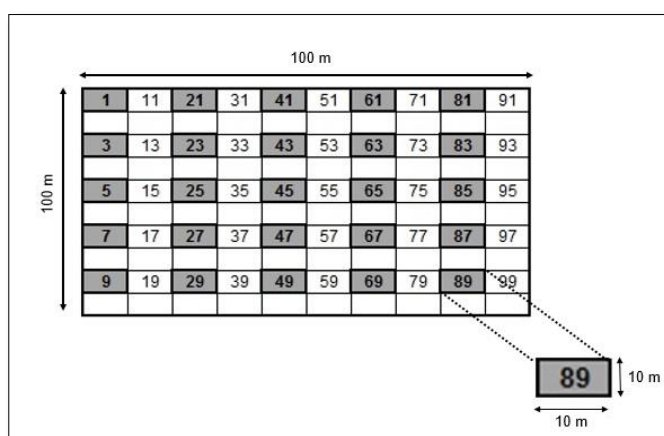


FIGURA 8. ÁREA DA PARCELA E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS SUBPARCELAS NA COLETA SISTEMATIZADA DE SERAPILHEIRA ACUMULADA.

2.2 Processamento da serapilheira acumulada

O material coletado foi acondicionado em sacos plásticos, encaminhado para o laboratório de Biogeoquímica da UFPR, secado ao ar livre e triado nas seguintes frações (Figura 9):

- Fração Folhas em Decomposição (FD): composta por folhas mais velhas, já apresentando sinais de decomposição, porém ainda relativamente inteiras e distinguíveis;
- Fração Folhas Recém Caídas (FR): composta por folhas recém-caídas das árvores, com poucos sinais de decomposição;
- Fração Ramos (R): composta pelos ramos com até 2 cm de diâmetro e cascas, eventualmente;
- Fração Órgãos Reprodutivos (OR): composta pelas flores, frutos e sementes acumuladas sobre o solo;
- Fração Miscelânea (MI): composta por material de origem animal e/ou vegetal que passou por uma peneira de 9 mm.



FIGURA 9. FRAÇÕES DE SERAPILHEIRA ACUMULADA. A- FOLHAS EM DECOMPOSIÇÃO; B- ÓRGÃOS REPRODUTIVOS; C – RAMOS; D- FOLHAS RECÉM CAÍDAS.

Após a triagem, o material foi acondicionado em sacos de papel, secado em estufa de circulação de ar forçado a $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ e pesado a fim de se obter a sua biomassa seca.

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, empregando como repetições as estações do ano para a avaliação do acúmulo total de serapilheira e por frações. No software Assistat®, inicialmente os dados foram submetidos ao teste de normalidade utilizando o teste de Bartlett; posteriormente foram submetidos à ANOVA e em seguida as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, com probabilidade de 95%.

2.3 Análise da distribuição espacial da serapilheira

O objetivo da análise espacial foi avaliar o comportamento dos padrões pontuais e estimar a sua intensidade em todos os sítios em estudo. Quando se

estuda processos pontuais, têm-se os eventos (amostras, neste caso) distribuídos no espaço, de modo que é possível estimar estas quantidades por unidade de área, ou seja, estimar a intensidade.

Nas planilhas com os valores das variáveis em cada ponto amostrado foram delimitadas as coordenadas x e y para cada ponto amostrado dentro das subparcelas, considerando que a área de coleta foi realizada no centro da parcela. Por exemplo, a subparcela 1, de área 10 metros x 10 metros, obteve a coordenada x = 5 e y = 5; já a subparcela 3 obteve a coordenada x= 5 e y= 15; a subparcela 21 obteve coordenada x = 15 e y = 5, e assim por diante.

Após esta etapa foi ajustada uma função bidimensional sobre os eventos considerados, compondo uma superfície cujo valor será proporcional à intensidade de amostras por unidade de área. Neste procedimento foi utilizado o *software* Arc Gis®, utilizando o componente Arc Map®. A função bidimensional realiza uma contagem de todos os pontos dentro de uma região de influência, ponderando-os pela distância de cada um à localização de interesse. A partir disso, a definição matemática é dada supondo que s represente uma localização em uma região R e s_1, \dots, s_n são localizações de n eventos observados. A intensidade, $\lambda(s)$, em s é então estimada pela fórmula:

$$\hat{\lambda}_r(s) = \sum_{h_i \leq r} \frac{3}{\pi r^2} \left(1 - \frac{h_i^2}{r^2} \right)^2$$

Em que:

h_i é a distância entre o ponto s e a localização do evento observado s_i , e a soma só ocorre para os pontos que estão a uma localização h_i que não ultrapasse r .

Os mapas de contorno foram gerados de acordo com a estimativa da densidade, aplicando-se o estimador de densidade de Kernel. O estimador de densidade de Kernel é uma técnica de interpolação, não paramétrica, em que uma distribuição de observações é transformada em uma superfície de densidade para a identificação visual da ocorrência da concentração do evento, indicando locais de aglomeração, caso existam, bem como a forma de como os dados se distribuem na área (BAILEY & GATRELL, 1995).

Os parâmetros básicos do estimador de Kernel são: (a) um raio de influência ($\tau \geq 0$) que define a vizinhança do ponto a ser interpolado e controla o "alisamento" da superfície gerada; (b) uma função de estimação com propriedades de suavização do fenômeno (DRUCK et al., 2004).

A estimativa Kernel depende diretamente desses dois parâmetros já citados, raio de influência (τ) e a função de estimação Kernel. O raio de influência define uma vizinhança de pontos utilizada para estimar o valor em um ponto s , sendo s uma localização genérica em uma região R , a ser interpolado (DRUCK et al., 2004).

O raio de influência define a área centrada no ponto de estimação que indica quantos eventos contribuem para a estimativa da função intensidade λ . Um raio muito pequeno irá gerar uma superfície descontínua; se for grande demais, a superfície poderá ficar muito amaciada (DRUCK et al., 2004). Nesse estudo, o raio de influência foi delimitado por 25 metros, ou seja, a metade da metade do maior lado da parcela.

Sintetizando, o que se faz é interpolar um valor de intensidade (número de amostras por unidade de área) para cada célula de uma grade, considerando uma função, simétrica, centrada na célula de s utilizando-se para o cálculo os pontos situados até certa distância do centro da célula (INPE, 2006).

O estimador de intensidade, neste caso por meio do estimador Kernel, é muito útil para fornecer uma visão geral da distribuição de primeira ordem dos eventos, uma vez que se trata de um indicador de fácil uso e interpretação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 22 é possível observar a variação da quantidade de serapilheira acumulada nos dois anos de estudo, nos diferentes sítios. O sítio FS1 se destacou com os maiores valores acumulados no ano de 2013. Mas em 2014 foram os sítios FS2 e FS4 (verão) e FS1, FS3 e FS6 (inverno) que mostraram os maiores valores de acumulação de serapilheira total.

TABELA 22. FITOMASSA ACUMULADA (Mg.ha⁻¹) EM SEIS SÍTIOS EM FORMAÇÕES SECUNDÁRIAS NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

Acúmulo de serapilheira (Mg.ha ⁻¹)							Valor de F
	FS1	FS2	FS3	FS4	FS5	FS6	
VERÃO/13	4,0 a ¹	3,1 b	3,1 b	2,4 bc	2,9 b	1,9 c	13,4**
INVERNO/13	5,4 a	2,3 c	3,6 b	2,0 c	2,7 bc	2,7 bc	21,1**
VERÃO/14	2,7 c	4,1 ab	2,8 c	4,8 a	3,8 b	2,4 c	21,2**
INVERNO/14	5,6 a	3,1 bc	4,4 ab	3,6 bc	2,7 c	4,2 ab	10,0**
TOTAL/13	9,4	5,4	6,7	7,2	7,6	4,6	
TOTAL/14	8,3	7,2	7,2	8,4	7,5	6,6	

¹Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey. ** (1% de probabilidade).

A quantidade média de serapilheira acumulada (frações e total) nos sítios, nos dois anos de estudo é apresentada no ANEXO II. Em geral, as maiores quantidades acumuladas foram das frações folhas em decomposição e miscelânea.

Foram observados altos coeficientes de variação (CV%) devido à grande variação dos acúmulos nas parcelas para algumas frações, especialmente órgãos reprodutivos, folhas recém caídas e ramos (ANEXO II). Dickow (2010) observou uma diminuição acentuada nas quantidades acumuladas em datas de coleta bem próximas e concluiu que estas mudanças poderiam não refletir apenas decomposição do material, mas também as variações entre os locais de amostragem.

As amostragens das áreas para a quantificação da serapilheira levam em conta uma distribuição aleatória ou sistematizada e essa distribuição depende principalmente do objetivo do trabalho. Alguns pesquisadores empregam como precaução distribuir os coletores (ou gabaritos) de forma a minimizar os efeitos da bordadura, primordialmente (GONDIM, 2005; GOMES et al., 2010). Entretanto, em alguns locais, principalmente tratando-se de ambientes naturais, a distribuição e o agrupamento de espécies e a topografia (considerando as irregularidades do terreno) numa mesma área podem ocasionar quantificações não exatas da realidade da produção acumulada de serapilheira em áreas muito extensas.

Devido à distância entre a posição dos coletores (10 metros), durante a sazonalidade foram observadas variabilidades espaciais na queda de serapilheira (Figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15). A variação espacial foi mais apontada para as frações: órgãos reprodutivos, folhas recém caídas e galhos. As frações folhas em decomposição e miscelânea foram as que apresentaram menor variação entre os diferentes pontos de coleta, e, provavelmente, são as que determinam o padrão de acúmulo de serapilheira total.

Com relação ao total de serapilheira depositada em florestas com diferentes idades, ou fases sucessionais, os resultados deste estudo corroboram apenas em parte com aqueles observados por Dickow (2010), em áreas de Floresta Ombrófila Densa do litoral paranaense. A autora observou acúmulos de serapilheira total de 3,8, 7,2 e 3,9 Mg.ha⁻¹, em florestas nas fases sucessionais inicial, média e avançada, respectivamente; ou seja, valores relativamente baixos de acumulação em floresta avançada, comparativamente aos resultados aqui observados.

Os resultados deste trabalho também contradizem em parte o que foi observado por Meguro et al. (1979), que afirma que a produção de serapilheira em florestas sucessionais tropicais úmidas pode alcançar valores mais altos do que em florestas maduras, uma vez que nas florestas sucessionais, em geral, ocorre maior número de espécies decíduas, além de mudanças na composição. De acordo com o autor, a acumulação de serapilheira é elevada no período de maior crescimento do povoamento, estabilizando-se com a maturidade da floresta.

Por outro lado, a menor acumulação nessas áreas pode indicar uma rápida e intensa decomposição do material depositado em áreas juvenis devido a diferentes espécies presentes nas áreas (O'CONNELLE e SANKARAN, 1997) e também devido à maior exposição solar, quando o dossel ainda está aberto.

Brun et al. (2001), mostraram que existe correlação entre a serapilheira acumulada e o estágio sucessional da floresta. Os autores observaram uma correlação expressiva entre a quantidade de serapilheira acumulada nas três fases sucessionais (capoeirão com 27 anos de idade, floresta secundária com

45 a 50 anos de idade e floresta madura) em Floresta Estacional Decidual, no Rio Grande do Sul. Em outro estudo, Britez (1994) avaliou duas florestas da planície litorânea da Ilha do Mel, em Paranaguá – PR e mostrou que no estágio inicial a serapilheira acumulada é descontínua, sendo que existem áreas com ausência total dessa, ficando o solo mineral completamente exposto. Nos outros estágios, a serapilheira acumulada é mais espessa e contínua, não havendo exposição do solo mineral.

A grande variabilidade entre diferentes estudos pode ser atribuída a diversos fatores, dentre eles o tipo de vegetação e a distribuição das espécies nas áreas (ou a deposição por diferentes espécies e também devido às variações fenológicas), nível sucessional, latitude, altitude, temperatura, ventos, precipitação, herbivoria, disponibilidade hídrica, estoque de nutrientes no solo, diferentes qualidades de substrato; características do microrelevo (inclinação, pedregosidade, depressões) e, eventualmente, a uma amostragem insuficiente do material acumulado bem como da estação do ano. (SPAIN, 1984; FACCELI e PICKET, 1991; CUNHA et al., 1993; PORTES et al., 1996).

E, ainda, estas diferenças podem ser resultado do local onde a amostragem foi realizada. No presente estudo, observou-se uma tendência de aumento da acumulação com o avanço da idade das florestas, mas observa-se também que os valores acumulados num mesmo sítio podem variar entre diferentes anos e entre as estações de um mesmo ano. E parte destes resultados pode ser explicado pela variabilidade espacial desta acumulação, como será visto nos mapas mais adiante (Figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15), que faz com que o resultado observado dependa do local onde a amostragem foi realizada.

A Tabela 23 mostra o acúmulo médio das frações de serapilheira em cada um dos sítios nos dois anos de estudo.

TABELA 23. FITOMASSA ACUMULADA (Mg. ha⁻¹) NAS FRAÇÕES EM DOIS ANOS EM SEIS SÍTIOS EM FORMAÇÕES FLORESTAIS SECUNDÁRIAS NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

Acúmulo médio de serapilheira por frações (Mg.ha⁻¹) em 2013							
	FS1	FS2	FS3	FS4	FS5	FS6	VALOR de F
FD¹	1,64 a ²	1,03 b	1,07 b	1,02 b	1,14 ab	0,69 c	14,0**
MI	1,62 a	0,62 c	1,33 ab	0,47 c	0,56 c	0,82 b	11,9**
R	1,17 a	0,84 ab	0,83 ab	0,53 ab	0,93 ab	0,74 b	2,9*
FR	0,19 a	0,17 ab	0,09 b	0,14 b	0,17 ab	0,06 b	4,3**
OG	0,09	0,09	0,03	0,04	0,06	0,01	1,4 ^{ns}
Acúmulo médio de serapilheira por frações (Mg.ha⁻¹) em 2014							
	FS1	FS2	FS3	FS4	FS5	FS6	VALOR de F
FD	1,94 ab	1,64 b	1,94 ab	2,03 a	1,50 b	1,35 c	14,1**
MI	1,28 a	0,83 b	0,78 b	1,00 ab	0,86 b	0,72 b	11,8**
R	0,70 bc	0,94 ab	0,72 bc	0,97 ab	0,59 c	1,15 a	10,1**
FR	0,15	0,15	0,15	0,13	0,19	0,11	1,5 ^{ns}
OG	0,03	0,06	0,02	0,09	0,11	0,02	0,9 ^{ns}

¹FD – Folhas em decomposição; MI – Miscelânea; R- Ramos; FR- folhas recém caídas; OG – Órgãos reprodutivos.

²Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1 (**) 5% (*) de probabilidade; ^{ns}- não significativo.

Com relação as frações nos sítios, em geral, apresentaram a seguinte sequencia de acúmulo: FD> MI> R> FR> OG. O sítio FS1, no ano de 2013, foi superior nas frações FS, MI e R em comparação com o sítio FS6. No ano de 2014, o sítio FS4 foi superior a FS6 nas frações FD e MI. Entratento, neste ano, o sítio FS6 acumulou mais ramos em comparação com FS1, FS3 e FS5. Estes dados mostram que, para as frações, o sítio não teve influencia no acúmulo de órgãos reprodutivos e de folhas recém caídas, apesar de apresentaram grande variação de acúmulo nas parcelas. As demais frações (FD, MI e R), que apresentam as maiores quantidades de acúmulo variaram de um ano para outro, sem mostrar uma tendência clara no acúmulo de serapilheira de acordo com a idade dos sítios.

TABELA 24. VALORES ANUAIS DE ACÚMULO DE FITOMASSA EM FLORESTAS SECUNDÁRIAS EM ALGUMAS FITOFISIONOMIAS BRASILEIRAS

VEGETAÇÃO	LOCAL	ESTÁGIO DE SUCESSÃO	ACÚMULO (Mg.ha ⁻¹)	REFERÊNCIA
Floresta Tropical (montanhosa)	Porto Rico	-	8,1	Anderson & Swift (1983)
Floresta Tropical Climax	Araras, SP	-	8,2	Morellato (1992)
Floresta Pluvial Baixo Montana	Pinheiral, RJ	Secundária em Perturbação	5,1	Mateus et. al., (2012)
Floresta Ombrofila Densa Submontana	Antonina, PR	Inicial	3,8	Dickow (2010)
Floresta Ombrofila Densa Submontana		Média	7,2	
Floresta Ombrofila Densa Submontana		Avançada	3,9	
Floresta Ombrofila Densa Submontana	Antonina, PR	Mais novo	6,7	Este estudo, no ano de 2013
		Intermediário	5,4	
		Mais velho	7,6	
Floresta Ombrofila Densa Submontana	Antonina, PR	Mais novo	7,2	Este estudo, no ano de 2014
		Intermediário	7,2	
		Mais velho	7,5	
Floresta Ombrofila Mista	Caçador, SC	Predomínio <i>Araucaria angustifolia</i>	9,7	Floss, Caldato e Bohner (1999)
Floresta Ombrofila Mista		Predomínio de outras espécies	7,5	
Floresta Ombrofila Mista	General Carneiro, PR	Inicial	7,9	Sanquetta et al. (2002)
Floresta Ombrofila Mista		Média	8,6	
Floresta Ombrofila Mista		Avançada	7,6	
Floresta Ombrofila Mista Montana	General Carneiro, PR	Secundária com atividades antrópicas	8,0	Caldeira et al. (2007)

Existem na literatura poucos estudos com dados sobre acúmulo de serapilheira em diversas tipologias florestais e especificamente em florestas tropicais naturais (Tabela 24).

De acordo com O'Connell e Sankaran (1997), em determinados locais da América do Sul, a biomassa da serapilheira acumulada de florestas tropicais naturais varia entre 3,1 e 15,5 Mg.ha⁻¹, corroborando com os valores obtidos neste estudo. Ainda, de acordo com o autor, mais de 75% dos valores da serapilheira acumulada em florestas tropicais naturais está abaixo de 7,0 Mg.ha⁻¹, tendo como média 6,0 Mg.ha⁻¹.

Vários fatores influenciaram nas diferenças entre a serapilheira acumulada em florestas. Toda a dinâmica das reações no material acumulado na superfície do solo é influenciada por fatores do ambiente, temperatura e umidade, pela qualidade inicial do material formador como, por exemplo, relação C/N, pelos componentes orgânicos, pela lignina e polifenóis, pelos macronutrientes e, em condições especiais, micronutrientes; pelos organismos do solo, como fauna, actinomicetos e bactérias entre outros (O'CONNELLE E SANKARAN (1997); WEDDERBURN; CARTER, 1999).

A serapilheira acumulada nos solos florestais, segundo O'Connell e Sankaran (1997), pode variar significativamente entre diferentes espécies estabelecidas no mesmo sítio. Outros fatores podem influenciar, tais como condições desfavoráveis para a decomposição, baixo nível de nutrientes na serapilheira e no solo, déficit de água no solo e na serapilheira, pH alto ou baixo, baixa densidade da população de organismos decompositores, além da época de coleta, bem como da estação do ano.

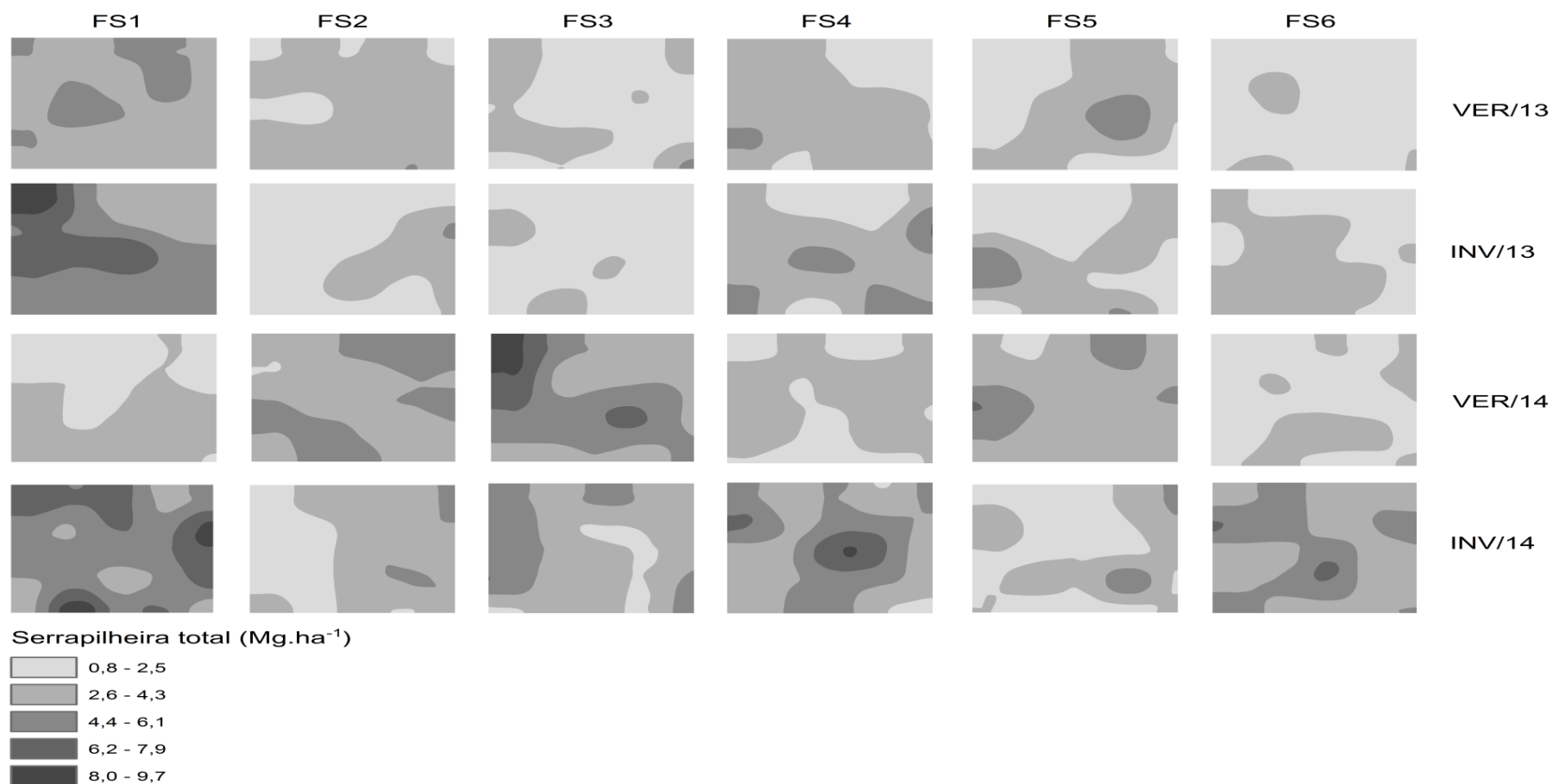


FIGURA 10. MAPAS ESPACIALIZADOS INTERPOLADOS PELO MÉTODO DE KERNEL DO ACÚMULO DE SERRAPILHEIRA TOTAL (Mg.ha^{-1}) EM SEIS SÍTIOS NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa NO VERÃO E INVERNO, NOS ANOS DE 2013 E 2014, EM ANTONINA, PR.

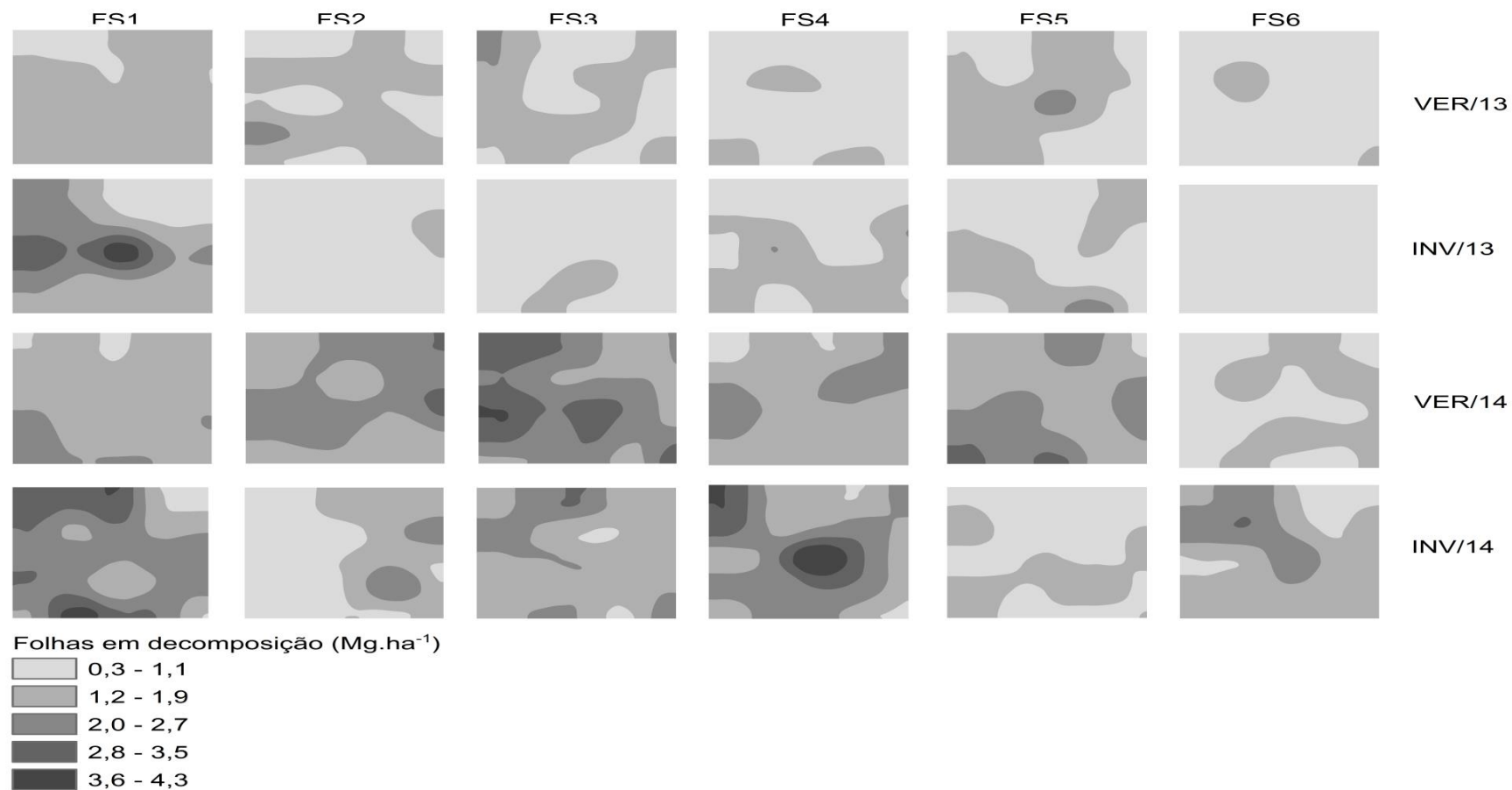


FIGURA 11. MAPAS ESPACIALIZADOS INTERPOLADOS PELO MÉTODO DE KERNEL DA FRAÇÃO FOLHAS EM DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA ACUMULADA (MG.HA⁻¹) EM SEIS SÍTIOS NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSE NO VERÃO E INVERNO, NOS ANOS DE 2013 E 2014, EM ANTONINA, PR.

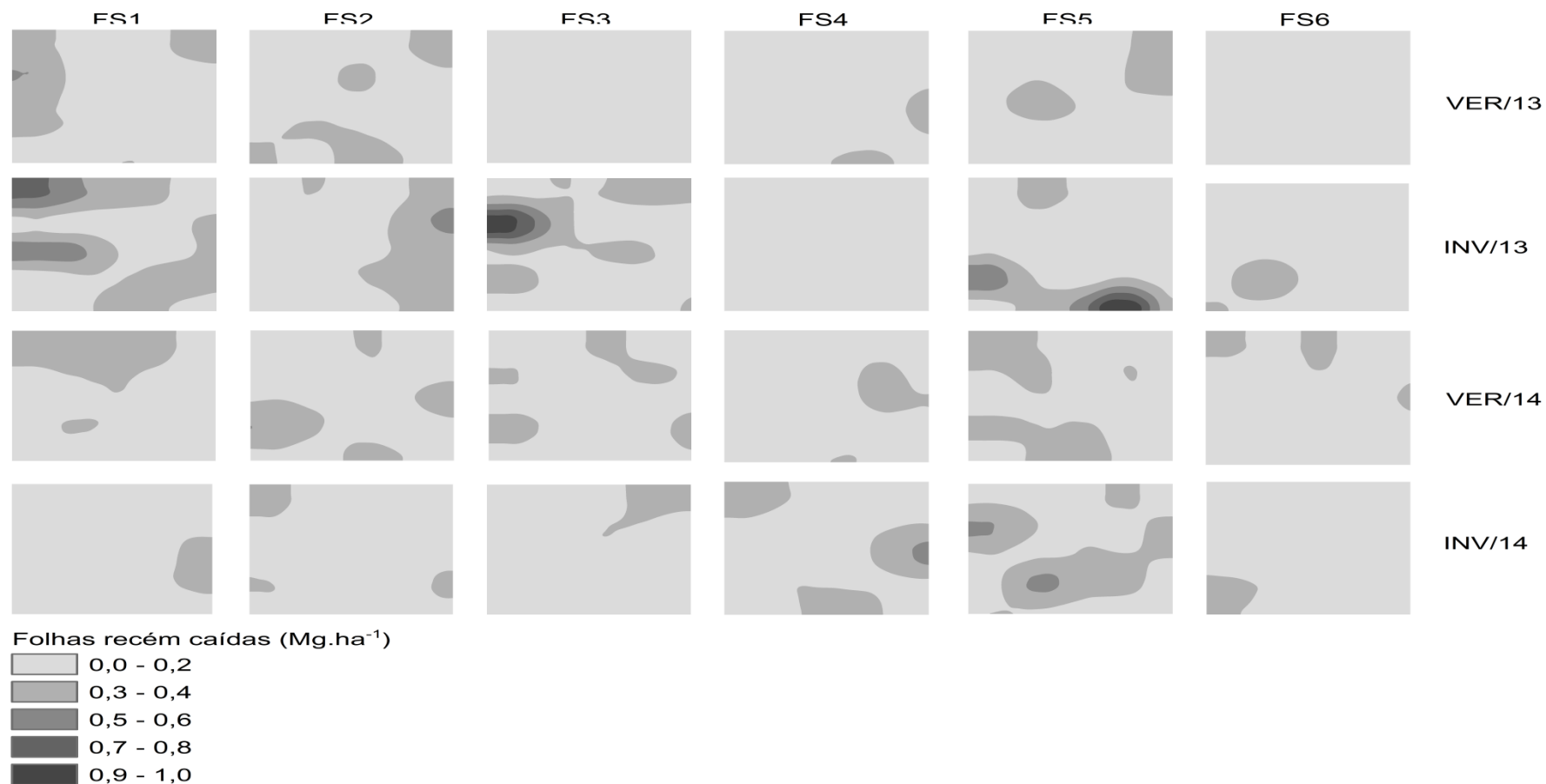


FIGURA 12. MAPAS ESPACIALIZADOS INTERPOLADOS PELO MÉTODO DE KERNEL DA FRAÇÃO FOLHAS RECÉM CAÍDAS DA SERAPILHEIRA ACUMULADA (Mg.ha⁻¹) EM SEIS SÍTIOS NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa NO VERÃO E INVERNO, NOS ANOS DE 2013 E 2014, EM ANTONINA, PR.

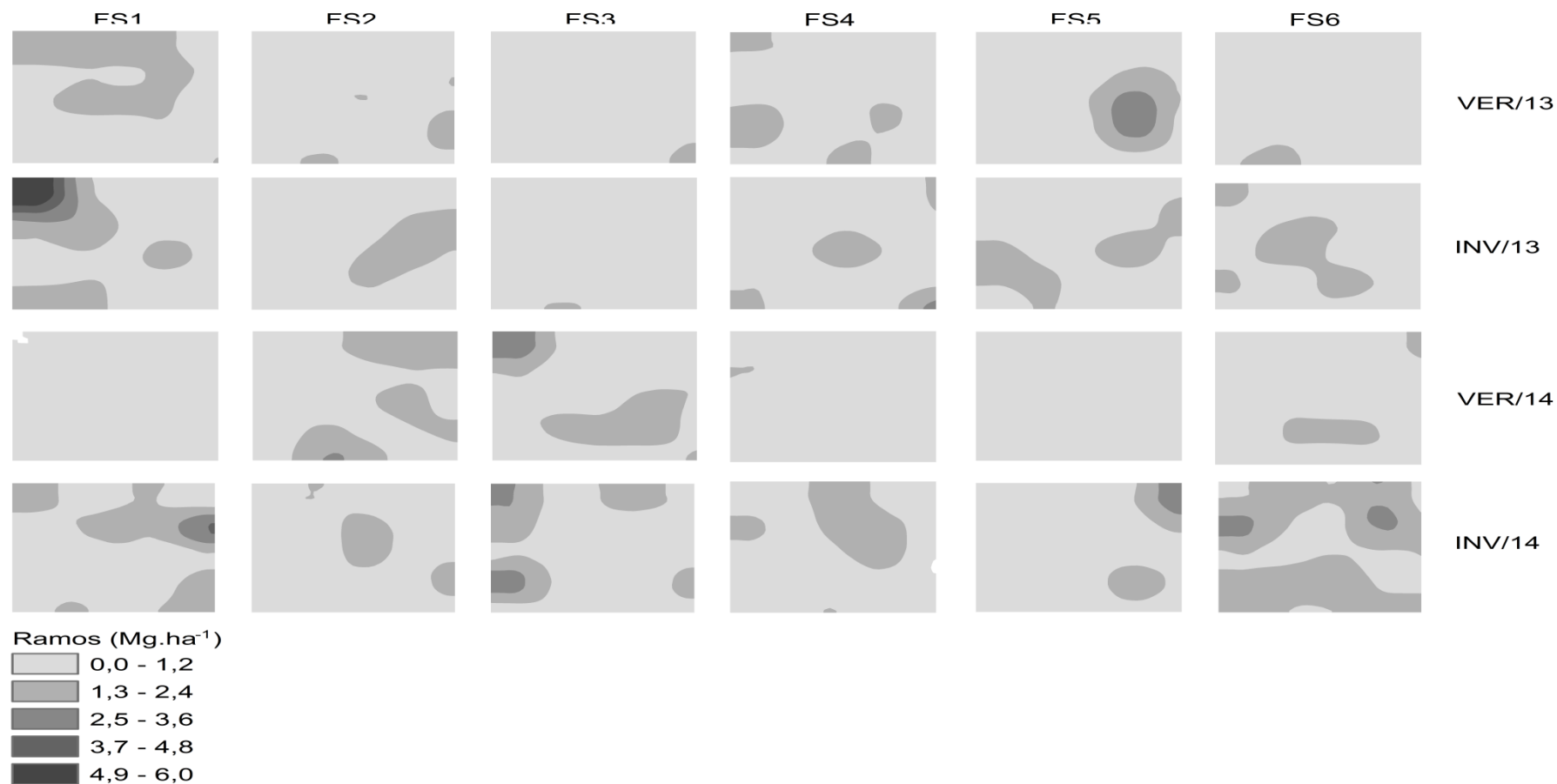


FIGURA 13. MAPAS ESPACIALIZADOS INTERPOLADOS PELO MÉTODO DE KERNEL DA FRAÇÃO RAMOS DA SERAPILHEIRA ACUMULADA (MG.HA⁻¹) EM SEIS SÍTIOS NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSE NO VERÃO E INVERNO, NOS ANOS DE 2013 E 2014, EM ANTONINA, PR.

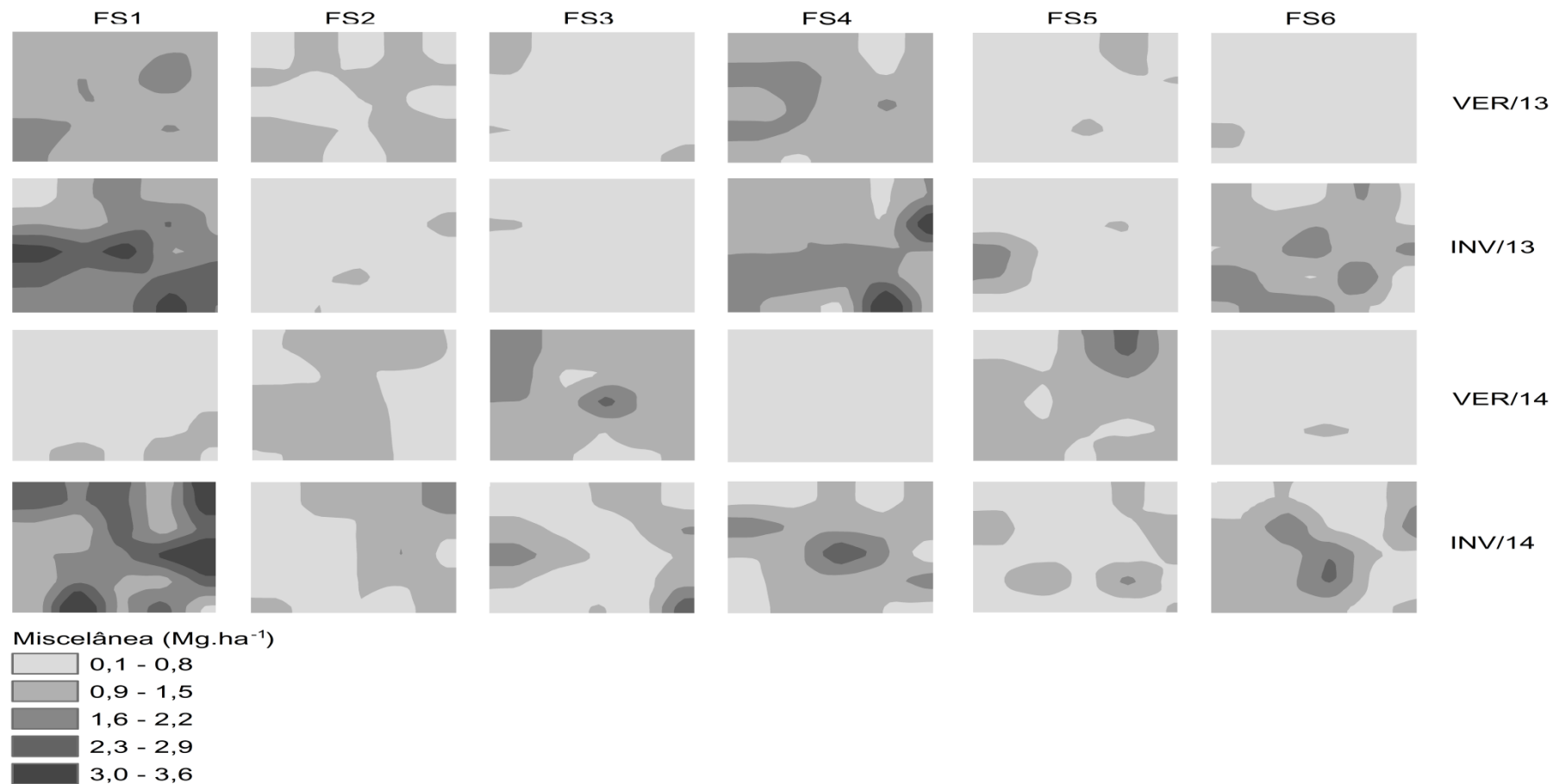


FIGURA 14. MAPAS ESPACIALIZADOS INTERPOLADOS PELO MÉTODO DE KERNEL DA FRAÇÃO MISCELÂNEA DA SERAPILHEIRA ACUMULADA (Mg.ha^{-1}) EM SEIS SÍTIOS NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSE NO VERÃO E INVERNO, NOS ANOS DE 2013 E 2014, EM ANTONINA, PR.

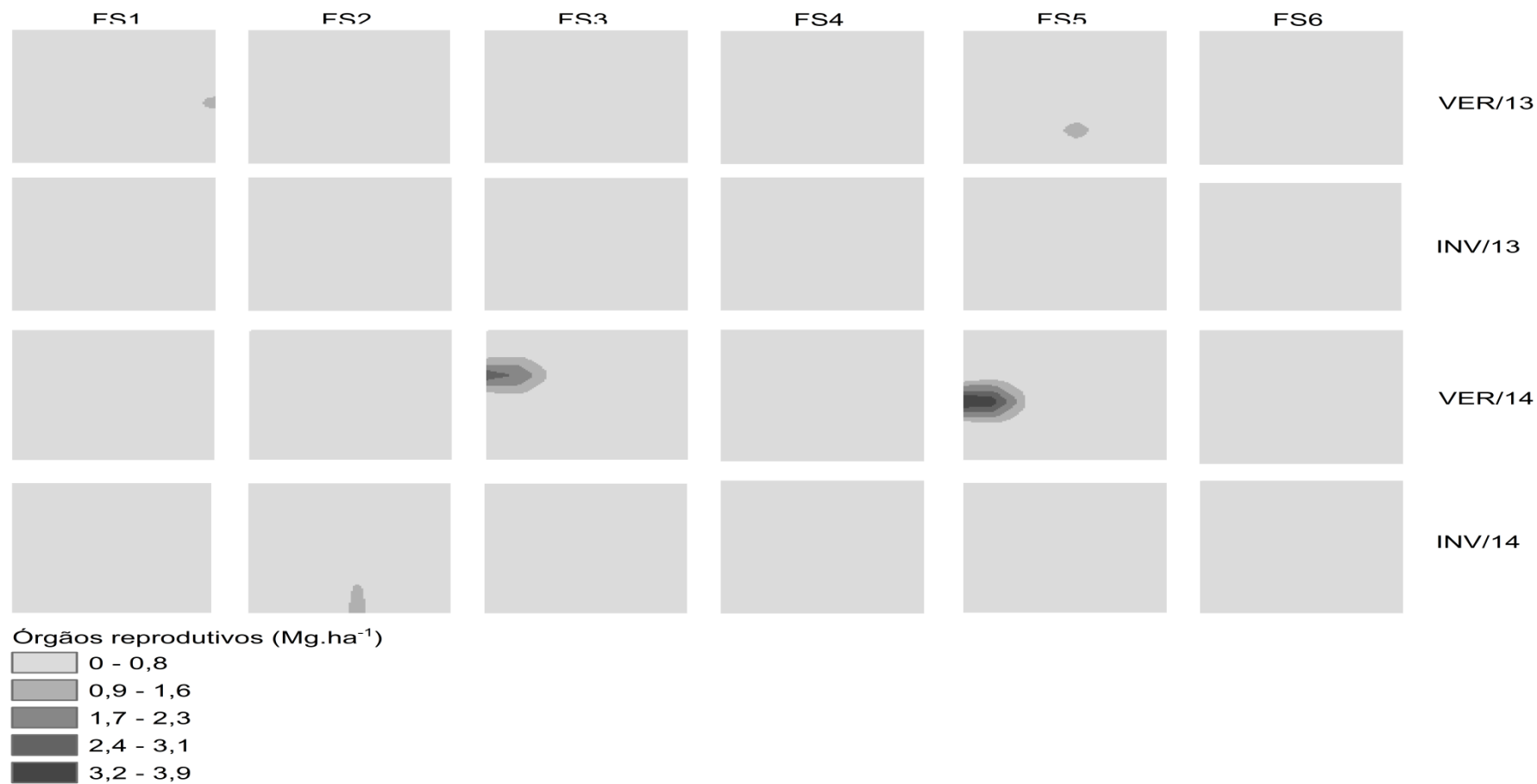


FIGURA 15. MAPAS ESPACIALIZADOS INTERPOLADOS PELO MÉTODO DE KERNEL DA FRAÇÃO ÓRGÃOS REPRODUTIVOS DA SERAPILHEIRA ACUMULADA (Mg.ha⁻¹) EM SEIS SÍTIOS NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSE NO VERÃO E INVERNO, NOS ANOS DE 2013 E 2014, EM ANTONINA, PR.

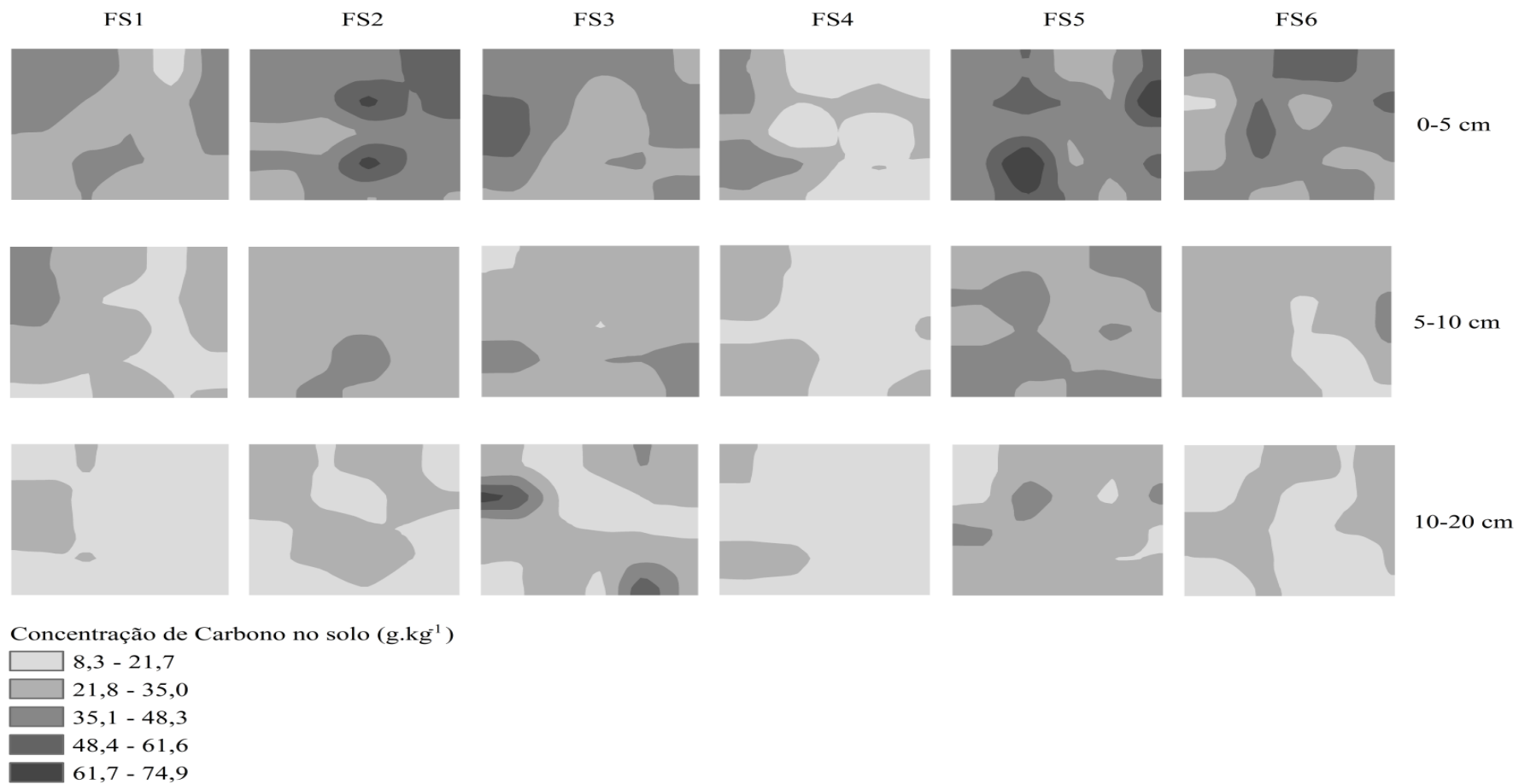


FIGURA 16. MAPAS ESPACIALIZADOS INTERPOLADOS PELO MÉTODO DE KERNEL DA CONCENTRAÇÃO DE CARBONO NO SOLO (g.kg⁻¹) EM TRÊS CAMADAS, 0-5 cm; 5-10 cm E 10-20 cm, EM SEIS SÍTIOS NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSE, EM ANTONINA, PR.

A distribuição espacial da serapilheira total acumulada pode ser visualizada na Figura 10. Observa-se que, dependendo do sítio ou da época de amostragem, a acumulação de serapilheira sobre o solo pode ser mais homogênea ou mais heterogênea. As imagens desta figura mostram que os locais de maior acumulação podem variar de uma estação do ano para a outra e também para diferentes anos de coleta, quando se considera a mesma estação do ano. Para identificar melhor as mudanças ao longo do tempo, seria interessante uma análise de sobreposição das imagens, o que não foi possível de ser feito neste trabalho. Outra abordagem interessante, que poderia ajudar a entender melhor os padrões observados nestes mapas, seria a sobreposição com mapas da distribuição das árvores nos sítios e mesmo com mapas de solos detalhados, ou do microrelevo nas parcelas, os quais ainda não existiam por ocasião destas investigações.

Independentemente da realização destas sobreposições mencionadas, é interessante observar que os locais de maior ou menor acumulação de serapilheira podem variar bastante entre as diferentes coletas realizadas, o que sugere que a estimativa da serapilheira acumulada sobre o solo pode variar bastante, dependendo de onde o gabarito de amostragem seja colocado; e sugere também a necessidade da coleta de um grande número de amostras de forma a minimizar as variações existentes.

Para a fração folhas em decomposição (Figura 11), a variabilidade espacial do acúmulo seguiu padrão similar ao da serapilheira total, tanto com relação aos sítios como quanto às épocas de coleta de dados, uma vez que esta fração foi a mais representativa quanto à proporcionalidade quantitativa na serapilheira total.

Já, para a fração folhas recém caídas (Figura 12), as imagens mostram variabilidade e valores absolutos bem inferiores aos observados para o material em decomposição, independentemente da época do ano. Isto sugere que as folhas depositadas sobre o solo ou já caem semidecompostas ou rapidamente entram em processo de decomposição.

Para fração ramos (Figura 13) também se observa uma distribuição pouco variável do acúmulo dentro das parcelas; e ao longo do período de

estudo. E nenhum padrão diferenciado foi identificado em relação à idade das florestas.

A fração miscelânea (Figura 14) mostrou variabilidade maior e maiores valores absolutos de acumulação para as coletas de inverno, não ficando muito clara a relação entre acumulação e idade da floresta. As quantidades acumuladas podem refletir o estágio de decomposição dos materiais, ou sua taxa de decomposição, que seria menor no inverno, daí a maior acumulação desta fração nas coletas invernais.

A fração órgãos reprodutivos (Figura 15), em termos quantitativos, é de menor expressão; e as imagens mostram também que apresenta baixa variabilidade. Mas este último resultado pode ser decorrente da forma como foram concebidos os mapas. Se fossem consideradas mais faixas de variação dos valores acumulados, haveria uma melhor discriminação das variabilidades existentes, o que deveria ser feito caso se buscasse compreender, por exemplo, a dispersão destes órgãos nas áreas de estudo.

De maneira geral, a variabilidade espacial no acúmulo do material vegetal nos sítios pode ser atribuída à distribuição aleatória das espécies, o que implica em variação da queda de serapilheira total e por frações. A inclinação, a pedregosidade e o encharcamento das áreas também contribuem para que a manta se deposite preferencialmente em determinados locais. Com o efeito da gravidade, ocorre redistribuição da serapilheira, que tende a acumular em depressões microtopográficas, como as ocasionadas por troncos caídos, rochas superficiais (CUNHA et al., 1993).

As parcelas do presente estudo possuem espécies vegetais de diferentes famílias (ANEXO I), que possuem idades, aspectos morfológicos e fenológicos distintos e uma distribuição espacial igualmente distinta. Isso pode ter contribuído para gerar a variabilidade espacial no acúmulo de serapilheira nas idades em que as áreas se encontram. Somente estudos mais aprofundados com sobreposição de dados da vegetação, do relevo e das classes de solos com aqueles de serapilheira acumulada poderiam avançar na compreensão das causas da variabilidade espacial aqui observada.

Já no solo, os teores de carbono total nos sítios foram mais elevados na profundidade de 0-5 cm, como era esperado, devido à transferência para o solo do carbono da serapilheira em decomposição (STÜRMER et al., 2007). As imagens ilustram bem a variabilidade dos teores de C no solo (Figura 16), a qual é mais pronunciada na superfície do solo. Nas demais profundidades a variabilidade tende a diminuir assim como os valores absolutos destes teores. Ao se comparar as imagens dos teores de C na profundidade 0-5 cm (Figura 16) com os valores de serapilheira total acumulada (Figura 10), o que se observa é quase uma inversão dos valores acumulados, ou seja, há uma tendência de maiores valores de serapilheira total acumulada nas florestas mais velhas enquanto o oposto é observado no solo, para os teores de C, com valores mais elevados nas florestas mais jovens. Como se trata de C orgânico total no solo, fica difícil estabelecer correlações com a vegetação hoje presente, sobretudo nos sítios mais jovens com florestas com idades inferiores a 30 anos. Balbinot (2009), em estudos realizados na mesma região, por meio da análise de resultados de $\delta^{13}\text{C}$ em amostras de solo, estimou que o carbono presente no solo pode ter sua origem em vegetação pré-existente há mais de 30 anos na área. Assim, o carbono hoje presente no solo seria o resultado dos balanços entre as adições oriundas do processo de decomposição da serapilheira e as subtrações decorrentes do processo de mineralização da matéria orgânica do solo.

4. CONCLUSÕES

A acumulação de serapilheira total se mostrou superior em um dos sítios mais velhos; e no período invernal para todos os sítios.

O acúmulo de serapilheira por frações seguiu a ordem: folhas em decomposição > miscelânea > ramos > folhas recém caídas > órgãos reprodutivos.

Os coeficientes de variação nas áreas foram elevados para as frações órgãos reprodutivos, folhas recém caídas e ramos; e os mapas ajudaram a identificar regiões de maior e menor acúmulo nos sítios. As demais frações de

serapilheira acumulada tiveram distribuição espacial regular, sem influencia da idade e da época de coleta.

O carbono no solo foi maior nas áreas que menos acumularam serapilheira, mas isto não reflete totalmente um efeito da vegetação atual. Os mapas ajudaram também a identificar nos sítios as áreas de maior acumulação deste elemento no solo.

A análise da distribuição espacial do acúmulo total e por frações de serapilheira mostrou-se uma importante ferramenta visual para identificar a variabilidade dentro das áreas de estudo. Como prosseguimento desta pesquisa, sugere-se que a integração dos fatores abióticos e da distribuição de espécies nos sítios contribuiria para a análise espacial compondo um conjunto dados que ajudaria a compreender melhor a dinâmica de deposição/decomposição da serapilheira nos diferentes sítios.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, J.M. The breakdown and decomposition of sweet chesnut (*Castanea sativa* Mill.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) leaf litter in two deciduous woodland soils. I. Breakdown, leaching and decomposition. **Oecologia**, v.12, p.251-274, 1973.

ANJOS, A.; MAZZA, M. C. M.; SANTOS, A. C. M. C.; DELFINI, L. T. Análise do efeito de um manejo em regime de rendimento sustentável sobre o padrão de distribuição espacial do palmitreiro (*Euterpe edulis*), utilizando a Função k de Ripley. **Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 215-225. 1998.

ANJOS, A.; MAZZA, M. C. M.; SANTOS, A. C. M. C.; DELFINI, L. T. Análise do padrão de distribuição espacial da araucária (*Araucaria angustifolia*) em algumas áreas no Estado do Paraná, utilizando a função K de Ripley. **Scientia Forestalis**, n. 66, p. 38-45, 2004.

ASSUNÇÃO, R.M.; LOPES, D.L. **Medidas de correlação entre padrões pontuais de origem-destino. Belo Horizonte-MG: Departamento de**

Estatística da UFMG. s.d. IOp. Disponível em: <www.est.ufmg.br/~assuncao>. Acesso em: setembro 2014.

BAILEY, T.C.; GATRELL, A. C. **Interactive Spatial Data Analysis.** London: Longman. 1995.

BALBINOT, R. **Carbono, nitrogênio e razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ no solo e vegetação de estágios sucessionais de Floresta Ombrófila Densa Submontana.** 103p. (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2009.

BATISTA, J. L. F.; MAGUIRE, D. A. Modeling the spatial structure of tropical forests. **Forest Ecology and Management**, v. 110, n. 1-3, p. 293-314. 1998.

BRAY, J.R.; GORHAM, E. Litter production in forests of the world. **Advances in Ecological Research**, v.2, p.101-157, 1964.

BRITEZ, R. M. **Cicalgem de nutrientes em duas florestas da planície litorânea da Ilha do Mel, Paranaguá, PR.** 1994. 240 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

BRUN, E. J. et al. Decomposição da serapilheira produzida em três fases sucessionais de floresta estacional decidual no RS. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, 1., 2001. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2001. 1 CD ROM.

CALDEIRA M.V.W.; MARQUES, R; SOARES, R.V; BALBINOT R. Quantificação de serrapilheira e de nutrientes - Floresta Ombrófila Mista Montana - Paraná. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v 5: 101-116, 2007.

CALDEIRA, M.V.W.; VITORINO, M.D.; SCHAADT, S.S.; MORAES, E.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, v.29, n.1, p.53-68, 2008.

CAPRETZ, R. L. et al. O uso de análises de segunda ordem (função K de Ripley) para a detecção do padrão espacial em três áreas submetidas a manejos silviculturais diferentes na região de Paragominas, Pará. In: REUNIÃO

DA RBRAS, 48. SEAGRO, 10. 2003, Belo Horizonte. **Anais ...** Lavras: Universidade Federal de Lavras, p.192-196, 2003

CAPRETZ, R.L. **Análise dos padrões espaciais de árvores em quatro formações florestais do estado de São Paulo, através de análises de segunda ordem, como a função K de Ripley.** 2004. 79 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP

CUNHA, G. C.; GRENDENE, L. A.; DURLO, M. A.; BRESSAN, D. A. Dinâmica nutricional em floresta estacional decidual com ênfase aos minerais provenientes da deposição da serapilheira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.3, n.1, p.19-39, 1993.

DICKOW, K. M. C. **Ciclagem de fitomassa e nutrientes em sucessão secundária na Floresta Atlântica, Antonina, PR.** 215 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

DOMINGOS, M.; MORAES, R.M., DE VUONO, Y.S. Produção de serapilheira e retorno de nutrientes em um trecho de Mata Atlântica secundária, na Reserva Biológica de Paranapiacaba, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, 20: p 91-96, 1997.

DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. **Análise espacial de dados geográficos**, Brasília: Embrapa, 2004.

FACELLI, J. M.; PICKETT, S. T. A. Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. **The Botanical Review**, n.57, p.1-32, 1991.

GODINHO, T.O.; CALDEIRA, M.V.W.; CALIMAN, J.P.; PREZOTTI, L.C.; WATZLAWICK, L.F.; AZEVEDO, H.C.A.; ROCHA, J.H.T. Biomassa, macronutrientes e carbono orgânico na serapilheira depositada em trecho de floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES. **Scientia Florestal**. Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 131-144, mar. 2013.

GOMES, J. M.; PEREIRA, M.G.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; PEREIRA, H.A.; GONDIM, F.R.; SILVA, E.M.R. Aporte de serrapilheira e de nutrientes em

fragmentos florestais da Mata Atlântica, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.3, p.383-391, 2010.

GONDIM, F.R. **Aporte de serrapilheira e chuva de sementes como bioindicadores de recuperação ambiental em fragmentos de Floresta Atlântica**. 2005. 85 f. Dissertação (Mestrado em Conservação da Natureza) - Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

GONZALES, M. I. M.; GALHARDO, J. F. El efecto hojarasca: una revision. **Anales de Edafología y Agrobiología**, Madrid, v.41, p 1130- 1157, 1982.

LEITÃO-FILHO, H.F., PAGANO, S.N., CÉSAR, O., TIMONI, J.L. & RUEDA, J.J. **Ecologia da mata atlântica em Cubatão (SP)**. EDUN- ESP/EDUNICAMP, São Paulo, 1993

LOPES, M. I. S.; DOMINGOS, M.; STRUFFALDIDE-VUONO, Y.; Ciclagem de nutrientes minerais. In: SYSLVESTRE, L. S.; ROSA M. M. T. **Manual metodológico para estudos botânicos na mata atlântica**. Seropédica: EDUR- UFRRJ, 2002. p.72- 102.

LOUZADA, M. A. P.; QUINTELA, M. F. S. & PENNA. L. P. S. Estudo comparativo da produção de serrapilheira em áreas de mata atlântica: a floresta secundária “antiga” e uma floresta secundária (capoeira). In: ESTEVES, F. A. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro: UFRJ, 61-74, 1995.

FIGUEIREDO FILHO, A.; MORAES, G. F.; SCHAAF, L. B.; FIGUEIREDO, D. J. de. Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma floresta ombrófila mista localizada no Sul do Estado do Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 11-18, 2003.

FLOSS, P.A.; CALDATO, S.L.; BOHNER, J.A.M. Produção e decomposição de serapilheira na Floresta Ombrófila Mista da Reserva Florestal da Epagri/Embrapa de Caçador, SC. **Agrop. Catarinense**, v.12, n.2, p.19-22, 1999.

KLEINPAUL, I. S.; SCHUMACHER, M. V.; KÖNIG, F. G.; KLEINPAUL, J. J. Acúmulo de serapilheira em povoamentos de pinus e eucaliptos no campus da UFSM. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO

SUL, 9. 2003, Nova Prata, RS. Floresta: função social: **Anais...** Nova Prata: Prefeitura Municipal, 2003. 1 CD-ROM.

LOPES, M.I.M.S.; VUONO, Y.S., DOMINGOS, M. Serapilheira acumulada na Floresta da Reserva Biológica de Paranapiacaba, sujeita aos poluentes atmosféricos de Cubatão, SP. **Hoehnea**; 17: 59-70, 1990.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 434p.1988.

O'CONNELL, A.M.; SANKARAN, K.V. Organic matter accretion, decomposition and mineralization. In: NAMBIAR, E.K.S.; BROWN, A.G. (Ed.) **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Canberra: ACIAR Australia/CSIRO, 1997. p.443-480.

PEREIRA, A.A.; NETTO, S.P.; CARVALHO, L.V.I.T. Análise da distribuição espacial de jequitibá rosa em uma floresta estacional sub-montana. **Revista Acadêmica**, v.4, n.2, p.21-34, 2006.

RIBEIRO, J.F.; FONSECA, C.E.L.; SOUSA-SILVA, J.C. **Cerrado: caracterização e recuperação de Matas de Galeria**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 899p.

MATEUS, F.A.; MIRANDA, C.C.; FIGUEIREDO, P.H.A.; VALCARCEL, R.; Freitas, A.F.N. AVALIAÇÃO DO ESTOQUE DE SERRAPILHEIRA ACUMULADA COMO INDICADOR DO PROCESSO DE RESTAURAÇÃO ESPONTÂNEA DE ECOSSISTEMA PERTURBADO EM PINHEIRAL, RJ. In: **VIII SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), 2012.

MEGURO, M.; VINUEZA, G.N.; DELITTI, W.B.C. **Ciclagem de nutrientes minerais na Mata Mesófila secundária**. Produção e conteúdo de nutrientes minerais do folheto. Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo, São Paulo, v. 7, p. 61-67, 1979.

MORELLATO, L.P.C. Nutrient cycling in two south-east Brazilian forests. I Litterfall and litter standing crop. **Journal of Tropical Ecology**, v.8, p.205-215, 1992.

PORTES, M. C. G. O.; KOEHLER, A.; GALVÃO, F. Variação sazonal de deposição de serapilheira em uma Floresta Ombrófila Densa Altomontana no morro do Anhangava- PR. **Floresta**, v.26, n.1/2, p.3-10, 1996.

RICHARDS, P. W. **The tropical rain forest**. Cambridge University Press, 443p, 1991.

RODRIGUES, R. R. & LEITÃO FILHO, H. F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 1ed., São Paulo: FAPESP, 320p., 2001.

SANQUETTA, C.R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R. et al. **As florestas e o carbono**, Curitiba, UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, 2002 p.119-140

SANTOS, V. D. **Ciclagem de nutrientes minerais em mata tropical subcaducifolia dos planaltos do Paraná (Parque Estadual Vila Rica do Espírito Santo – Fenix/ PR)**. 1989. 387 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1989.

SPAIN, A.V. Litterfall and the standing crop of litter in three tropical australian rain forests. **Journal of Ecology**, v.72, n.3, p.947-961, 1984.

STÜRMER, S. L K.; ROSSATO, O. B.; COPETTI, A. C. C.; RHEINHEIMER, D. S. Perdas e recuperação de carbono orgânico em um Cambissolo sob diferentes usos. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, Gramado, RS. **Anais...**Gramado: (s.n.). 2007.

XI, W., PEET, R.K.; URBAN, D.L.Changes in forest structure, species diversity andspatial pattern following hurricane disturbance in a Piedmont North Caroline forestUSA. **Plant Ecology**, v. 1, n. I, p. 43-57, 2008.

CAPÍTULO III

MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO NO SOLO NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa SUBMONTANA DO LITORAL DO PARANÁ

RESUMO

Este estudo foi realizado com o objetivo de estimar a mineralização do nitrogênio em seis sítios florestais, em sucessão secundária na Floresta Ombrófila Densa, em três períodos (inverno/2013, verão/2014 e inverno/2014). As coletas de solo, na profundidade de 0-5 cm foram sistematizadas em nove pontos dentro dos seis sítios em estudo: duas em floresta mais velhas, idade superior a 100 anos (FS1 e FS2), duas em floresta secundária em idade intermediária, entre 60 e 80 anos (FS3 e FS4) e duas em floresta secundária mais nova, com idade entre 40 e 60 anos, e entre 20 e 30 anos, respectivamente (FS5 e FS6), todas na Reserva Natural Rio Cachoeira, Antonina, PR. As amostras de solo foram incubadas em condições controladas de temperatura, anaerobicamente, sem correção prévia da umidade do solo. Os resultados mostram que durante o processo de incubação os picos de mineralização ocorreram entre os 15 e 30 dias; e a estabilização entre 45 e 60 dias de incubação. O nitrogênio potencialmente mineralizável (NPM) mostrou valores mais elevados nas florestas mais velhas, quando as condições de precipitação foram mais favoráveis, independentemente de ocorrerem no inverno ou no verão. A umidade do solo parece ser o fator mais limitante ao processo de mineralização do N no solo. Sob condições limitantes de água no campo, possíveis diferenças entre sítios florestais, quanto à mineralização do N no solo, deixam de ser detectadas e impossibilitam uma avaliação mais precisa dos fatores que interferem neste processo biogeoquímico.

Palavras chave: Floresta Atlântica, sucessão florestal, incubação anaeróbica, sazonalidade.

ABSTRACT

This study was carried out in order to estimate the N mineralization on six sites representing a secondary succession of the Southern Atlantic Rainforest, in

Brazil, during three periods (winter/2013, summer/2014 and winter/2014). Soil sampling was performed at a depth of 0-5 cm, systematically on nine points of each site: two old-age forest - higher than 100 years-old (FS1 and FS2), two middle-age secondary forest - between 60 to 80 years-old (FS3 and FS4) and two young secondary forest – 40 to 60 years-old and 20 to 30 years-old, (FS5 and FS6, respectively). All sites situated on the “Reserva Natural Rio Cachoeira, in Antonina, Parana State, Brazil. The soil samples were incubated under anaerobic and controlled temperature conditions, without previous soil umidity correction. The pics of mineralization occurred between 15 and 30 days after incubation started, and stabilized after 45-60 days of incubation. The potentially mineralized nitrogen (PMN) was highest on the old-age forests when the rainfall conditions were more suitable, independently of the season. Soil umidity seems to be the more limiting factor to soil N mineralization. Under limited soil water disponibility, possible differences between forest sites, concerning N mineralization, are not detectable restricting the understanding about the factors influencing this biogeochemical process.

Keywords: Atlantic forest, successional stages, anaerobic incubation, seasonality.

1. INTRODUÇÃO

O nitrogênio é um dos elementos mais abundantes nas plantas, somente presente em menor quantidade do que o carbono, oxigênio e hidrogênio sendo encontrado em diferentes compostos orgânicos, dentre eles vários aminoácidos orgânicos e ácidos nucleicos. O nitrogênio é nutriente mineral absorvido em maiores quantidades pela maioria das plantas, portanto, a quantidade do nutriente é um fator limitante ao crescimento e produção das culturas (TAIZ & ZEIGER 2009; EPSTEIN E BLOOM, 2006)

As florestas tropicais, em regra, são mais ricas em N quando comparadas com florestas temperadas, uma vez que a intensa radiação solar e a grande quantidade de chuva nas regiões de clima tropical faz com que as taxas de decomposição da matéria orgânica do solo sejam superiores, acarretando em uma intensa ciclagem dos nutrientes e uma acelerada

atividade microbiana (MARTINELLI et al., 1999; MOREIRA & SIQUEIRA, 2002).

O retorno de nutrientes ao solo por meio da serapilheira acumulada e sua liberação via mineralização é um processo básico para a ciclagem de nutrientes dentro do ecossistema florestal, constituindo-se numa importante fonte de nutrientes para o solo e para as árvores, principalmente para aqueles elementos cuja fonte primária são os compostos orgânicos, como é o caso do N (GONÇALVES, 1995).

O solo contém nitrogênio orgânico que pode representar 97-98% do nitrogênio total do solo. O nitrogênio inorgânico geralmente representa somente 2-5%, porém, estas são as formas inorgânicas que são imprescindíveis para a nutrição das plantas. (MALAVOLTA et al., 2004). De tal modo, é importante que aconteça o processo de mineralização em que ocorre a transformação do nitrogênio orgânico em formas minerais através de microrganismos presentes no solo.

Obtido por meio da simbiose com organismos fixadores, diretamente do solo, na forma de N inorgânico (amônio e nitrato) ou orgânico (aminoácidos), o nitrogênio inorgânico é gerado principalmente da mineralização da matéria orgânica por organismos decompositores (BARRETO et al. 2006; LEA & AZEVEDO 2007).

A amonificação é promovida por microrganismos heterotróficos onde a amônia formada, em geral, é convertida em nitrato disponível para as plantas, sendo este processo chamado nitrificação, o qual é realizado por bactérias autotróficas. Por outro lado, o nitrogênio mineral do solo pode ser convertido em nitrogênio orgânico nas proteínas dos microrganismos, via imobilização, tornando-se indisponível para as plantas. Mas parte deste nitrogênio volta à forma disponível, à medida que os microrganismos morrem e se decompõem (VAN RAIJ, 1981; FUNDAÇÃO CARGILL, 1998).

A mineralização microbiológica do $\text{NH}_4^+\text{-N}$ da matéria orgânica do solo é a principal fonte de N disponível para as plantas em muitos ecossistemas

florestais e as taxas de mineralização do N podem regular a produtividade de muitas florestas (NADELHOFFER; ABER; MELILLO, 1983).

O modelo proposto por Stanford e Smith (1972), tem sido muito disseminado em estudos na determinação do potencial de mineralização do nitrogênio no solo. Após o proposto pelos autores, novos métodos têm sido sugeridos para estimativa as taxas de mineralização de nitrogênio sendo que os métodos de incubação em laboratório, seja aeróbico ou anaeróbico, têm sido promissores pela sua facilidade e no controle de fatores externos como a temperatura (WARING e BREMNER, 1964).

Como os métodos de incubação em laboratório são conduzidos em condições controladas de temperatura e umidade, os mesmos não avaliam o real efeito das condições ambientais na disponibilidade de N. Porém, esses métodos podem contribuir para a comparação da mineralização da serapilheira depositada por diferentes estágios de sucessão florestal, a qual não poderia ser avaliada em condições de campo uma vez que outras variáveis ambientais poderiam confundir os resultados (BINKLEY e HART, 1989; GONÇALVES et al., 2001, 2008).

A determinação da mineralização do N do solo, por meio de ensaios de incubação anaeróbica, tem a vantagem de ser metodologia que produz resultados em espaço de tempo mais curto do que o da mineralização aeróbica (GONÇALVES et al., 2001 e YAGI et al., 2009), o que é bastante interessante do ponto de vista da prática científica.

Alguns trabalhos, usando da ferramenta da incubação anaeróbica, corroboram a utilidade desta ferramenta para comparar o potencial de mineralização do N no solo em áreas com diferentes sistemas de produção, sejam florestais, agrícolas ou de pastagem (CARVALHO, 2011; BIESEK, 2012).

O objetivo geral desse estudo foi avaliar, comparativamente entre sítios florestais com diferentes idades no litoral do Paraná, o potencial de mineralização de nitrogênio do solo e o efeito da sazonalidade sobre esta mineralização.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a mineralização do nitrogênio por incubação anaeróbia foi adotada a metodologia proposta por Waring & Bremner (1964). A coleta e o preparo das amostras para o ensaio de mineralização, entretanto, foram uma adaptação do procedimento realizado por Jussy (1998).

Nos seis sítios em áreas de formações florestais secundárias (FS) em diferentes idades, denominados de **FS1**; **FS2**; **FS3**; **FS4**; **FS5** e **FS6** foram realizadas coletas em nove pontos (subparcelas) dentro de cada parcela de forma sistematizada.

As coletas de solo foram realizadas em três períodos sazonais (verão e inverno), nos meses de junho/2013, janeiro/2014 e julho/2014.

No campo, foi realizada a coleta de solo na camada 0-5 cm e no preparo para incubação anaeróbica o solo foi peneirado sob malha de 4 mm, retirando-se as raízes e os resíduos visíveis de plantas e animais e, em seguida, foi colocado cerca de 10 cm³ de solo com auxílio de amostrador, na forma de cachimbo, em tubos de centrífuga de 50 mL contendo 30 mL de KCl 2 mol L⁻¹.

Ainda, o restante do solo coletado foi colocado em saco plástico, sendo identificada a parcela e a subparcela amostrada, para a obtenção da umidade do solo em laboratório. Para tal, 10 g de solo úmido foi colocado para secagem em estufa de circulação de ar forçada com temperatura entre 105°C e 110°C, até que apresentasse peso constante. Posteriormente, as amostras foram pesadas novamente para os cálculos dos teores de umidade gravimétrica do solo.

No Laboratório de Biogeoquímica (LaB) da UFPR, um dia após a coleta, os tubos foram agitados por 45 minutos e centrifugados a 2.000 rpm, durante 10 minutos para realizar o procedimento da extração das alíquotas de extrato para a determinação do N mineralizado. As amostras foram então filtradas com filtro de filtração rápida, previamente preparados com uma lavagem com 20 mL de KCl 2 mol L⁻¹, e 3 lavagens consecutivas de 20 mL de H₂O deionizada, para eliminar resíduos de amônio e nitrato que pudessem contaminar as amostras. Essa extração foi caracterizada como ponto 0 (0 dias).

Para determinação do N-NH_4^+ (amônio), foi utilizado o método do fenato, em presença de meio alcalino e na presença do catalizador nitroprussiato (SCHEINER, 1976). Foi diluído 1 mL ou 5mL do extrato (essa quantidade varia em função da concentração de amônio na amostra) em 0,2 mL de solução alcoólica de fenol, 0,2 mL de solução de nitroprussiato sódico, 0,5 mL de solução oxidante, sendo completado o volume de 10 mL com água deionizada. Nesse procedimento a amônia reage com o fenol e com o hipoclorito sódico, formando o azul de indofenol que se torna suscetível à determinação por colorimetria. Aguardou-se 1 hora para o desenvolvimento da cor antes de submetê-las à leitura.

Para a determinação de N-NO_3^- (nitrato), diluiu-se 5 mL do extrato em 0,8 mL de H_2SO_4 em um frasco de 10 mL e completou-se com água deionizada para completar volume de 10 mL. Em duplicata de cada amostra, foram adicionados 0,1 g de zinco metálico para a redução do nitrato. Após 24 horas de reação, a leitura foi realizada na duplicata. A diferença dos valores de leitura nas amostras, com e sem zinco metálico, expressa o teor de nitrato na solução extratora.

As leituras foram determinadas no Espectrofotômetro Shimadzu UV Mini 1240, sendo o comprimento de onda empregado para o amônio de 640 nm e para o nitrato de 210 nm.

Após a primeira extração as amostras nos tubos foram direcionadas para o ensaio de incubação. Para tal, em cada tubo foi acrescentada solução nutritiva de MgSO_4 ($0,002 \text{ mol L}^{-1}$), CaCl_2 ($0,005 \text{ mol L}^{-1}$) e $\text{NaH}_2\text{PO}_4\text{H}_2\text{O}$ ($0,005 \text{ mol L}^{-1}$). Os tubos foram agitados manualmente até a dispersão dos solos e depois tampados e colocados em incubadora a uma temperatura de $28 \pm 2^\circ\text{C}$.

A segunda extração de N foi realizada quinze dias após o início da incubação. Foram adicionados 5,2 g de KCl em cada tubo de centrifuga, para transformar a solução nutritiva em solução extratora. Os tubos foram então agitados e centrifugados de forma semelhante à usada para a extração do N presente antes da incubação, ou seja, agitados por 45 minutos e posteriormente centrifugação em rotação de 2.000 rpm. A solução extratora foi então retirada do tubo e filtrada para a tomada das alíquotas para análise.

A continuação do processo de incubação se deu pela adição, novamente, de 30 ml de solução nutritiva e colocação dos tubos na incubadora. Estas operações foram realizadas sucessivamente completando-se, na totalidade, 0, 15, 30, 45 e 60 dias de incubação.

O cálculo para estimar o nitrogênio potencialmente mineralizável (NPM) foi obtido pela soma dos valores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- obtidos das extrações realizadas a cada 15 dias durante o ensaio de mineralização em laboratório. Ao final do ensaio (60 dias) obteve-se o NPM. O período de 60 dias foi suficiente para que a mineralização descesse a patamares próximos a zero ou de estabilização e, por isto, o ensaio finalizado.

Para a análise estatística, foi utilizado o *software* Assistat® considerando-se um delineamento estatístico inteiramente casualizado, usando-se para a comparação entre sítios, os dados das estações do ano como repetições. Foi realizado o teste de Bartlett para verificar a homogeneidade das variâncias dos tratamentos. Uma vez assegurada a normalidade, os dados foram submetidos à ANOVA e, em seguida, as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, com probabilidade de 95%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Nitrogênio mineralizado

Os resultados dos ensaios de mineralização (Figura 17) mostram que a dinâmica de liberação do N foi algo similar entre os diferentes sítios, variando, entretanto, quanto à época de coleta das amostras de solo; e no caso específico do inverno de 2013, mostrou diferenças entre os sítios estudados.

No inverno/13, o maior pico de N mineralizado foi aos 30 dias após a incubação, com 193 mg N. kg.solo⁻¹ na FS1. Nas áreas FS2, FS3, FS4 e FS6 os maiores picos ocorreram aos 15 dias de incubação e foram um pouco inferiores (132, 118, 107 e 92 mg N.kg.solo⁻¹, respectivamente).

Já, no período do verão/14, os maiores picos de N mineralizado foram aos 15 dias após a incubação, sendo que o maior ocorreu na FS1 novamente, com 188 mg N.kg.solo⁻¹. Nas áreas FS2, FS3, FS4 e FS6 as maiores taxas foram de 168, 166, 153 e 138 mg N.kg.solo⁻¹, respectivamente.

No período do inverno/14, os picos de mineralização foram bem mais baixos que aqueles dos ensaios anteriores. Os maiores picos de N mineralizado foram aos 15 dias após a incubação, com 50, 49 e 42 mg N.kg.solo⁻¹ para FS2, FS5 e FS4, respectivamente; seguidos das áreas FS3 e FS1 com picos de 37 e 32 mg N.kg.solo⁻¹, respectivamente, aos 15 dias de incubação.

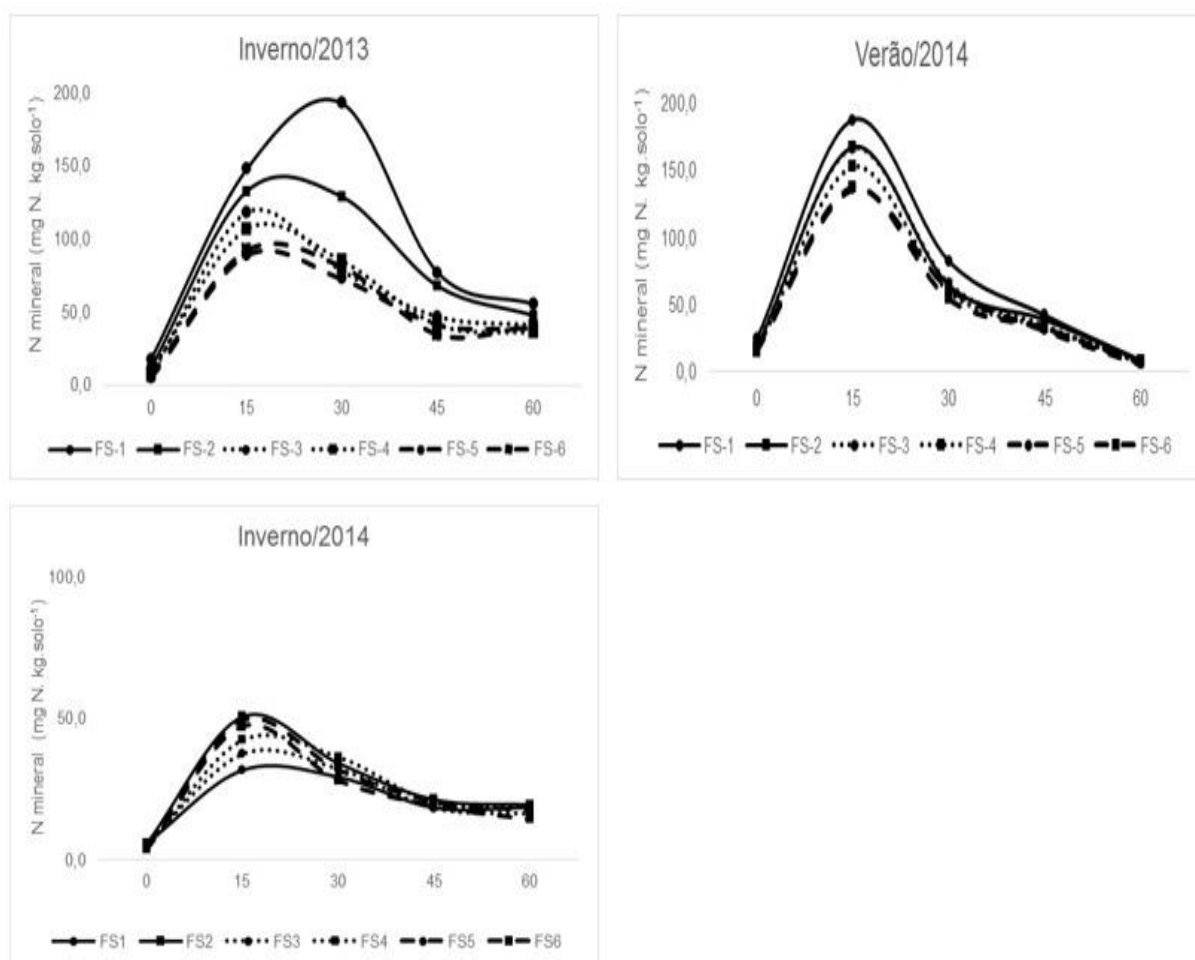


FIGURA 17. MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO EM SEIS SÍTIOS EM SUCESSÃO SECUNDÁRIA NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSE EM UM PERÍODO DE 0 A 60 DIAS DE INCUBAÇÃO EM ANTONINA, PR.

Todos os sítios apresentaram comportamento similar ao início da incubação, mostrando uma primeira fase de ligeira mineralização, com picos entre 15 e 30 dias de incubação, seguida da fase decrescente com estabilização do processo entre 45 e 60 dias de incubação.

A tendência de estabilização das quantidades de nitrogênio mineralizado nos ensaios de incubação é comum em diversos estudos. Rhoden et al, (2006), em solos de várzea com o cultivo de arroz, encontraram estabilização a partir de oito semanas. Barreto et al. (2010), avaliando sistemas agroflorestais em diferentes idades e Yagi et al (2009) em diferentes tipologias agroflorestais obtiveram estabilização a partir de três semanas. Biesek (2012) encontrou estabilidade para agrossistemas e pastagens após nove semanas. Já Blum (2014), em povoamentos com diversas espécies florestais, encontrou estabilização após 7 semanas de incubação. Esses estudos sugerem que as condições de incubação e de origem das amostras de solo seriam responsáveis pelo maior ou menor tempo necessário à estabilização da mineralização.

A mineralização do N é em parte determinada pela quantidade de substrato disponível para a decomposição (quantidade de serapilheira e o teor de MO no solo) e pelas taxas de decomposição (CHAPIN et al., 2011). A mineralização líquida do N corresponde à diferença entre o somatório das concentrações de N-NH_4^+ e N-NO_3^- final das amostras incubadas. Os maiores teores de N mineralizado na camada superficial têm relação com a maior ocorrência de microorganismos nos horizontes superficiais do solo, decorrente das condições favoráveis de temperatura, umidade, aeração, disponibilidade de nutrientes (RIGOBELLO & NAHAS 2004; MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). BLUM (2014), avaliando as taxas de nitrogênio potencialmente mineralizável (NPM), em povoamentos florestais com espécies nativas e exóticas, evidenciou a “vantagem doméstica” no processo de mineralização, ou seja, nos sítios com espécies nativas (*Araucária* – *Araucaria angustifolia* e *Imbuia* – *Ocotea porosa*) os valores de N total mineralizado foram superiores àqueles observados nos sítios com espécies exóticas.

3.2 Nitrogênio acumulado

O N mineralizado acumulado mostrou-se diferente em função das datas de coleta, com valores mais elevados nos solos coletados no inverno/13 e verão/14 e valores inferiores no inverno/14 (Tabela 24 e Figura 18).

As temperaturas médias mais elevadas e os maiores índices pluviométricos encontrados no verão são os fatores que mais influenciam o crescimento da população microbiana e, por sua vez, a taxa de mineralização do nitrogênio (PULITO, 2009). Alguns autores mostraram que as maiores taxas de NPM ocorrem nos períodos mais quentes e chuvosos do ano (KHANNA, 1990; GONÇALVES et al., 2001; BLUM, 2014). Observando os meses nos quais foi realizada a coleta de solos para a incubação é notado que no mês de junho de 2013, data da primeira coleta para a incubação das áreas, ocorreu uma considerável quantidade de precipitação acumulada atípica na estação (267 mm, quase o dobro da média histórica). Em contrapartida, outra situação atípica na coleta realizada no verão/14, no mês de janeiro o valor total acumulado de precipitação foi de 106,7 mm (quatro vezes menor que a média histórica), e na última coleta, no mês de julho de 2014, o total precipitado foi típico da estação com valor bem baixo, de 62,7 mm (Figuras 3 e 4b). Estas condições meteorológicas por ocasião das coletas de solo, associado ao fato de que as amostras foram incubadas sem ajuste de umidade, ajuda a explicar os resultados observados. Assim, os maiores valores de N acumulado no inverno/13 poderiam ser explicados pela disponibilidade adequada de umidade no solo (em combinação com temperatura amena - média de 18,8 °C) que resultou em valores de mineralização equivalentes aos observados no verão/14. Os mais baixos valores identificados no inverno/14 seriam decorrentes da baixa disponibilidade de umidade no solo e de uma população microbiana menos desenvolvida, neste inverno típico.

TABELA 24. NITROGÊNIO POTENCIALMENTE MINERALIZÁVEL (mg de N. kg.solo⁻¹) NO SOLO EM SEIS SÍTIOS EM FLORESTAS SECUNDÁRIAS, NO INVERNO E NO VERÃO, EM ANTONINA, PR.

SÍTIO	Inverno/13	Verão/14	Inverno/14
FS1	484,2 a ¹	353,2 a	103,4 b
FS2	387,9 a	296,2 a	130,8 b
FS3	288,9 a	289,3 a	109,7 b
FS4	259,3 a	254,6 a	126,4 b
FS5	246,7 a	248,3 a	122,3 b
FS6	254,2 a	246,6 a	112,1 b

¹Médias seguidas pelas mesmas letras, na horizontal, não diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

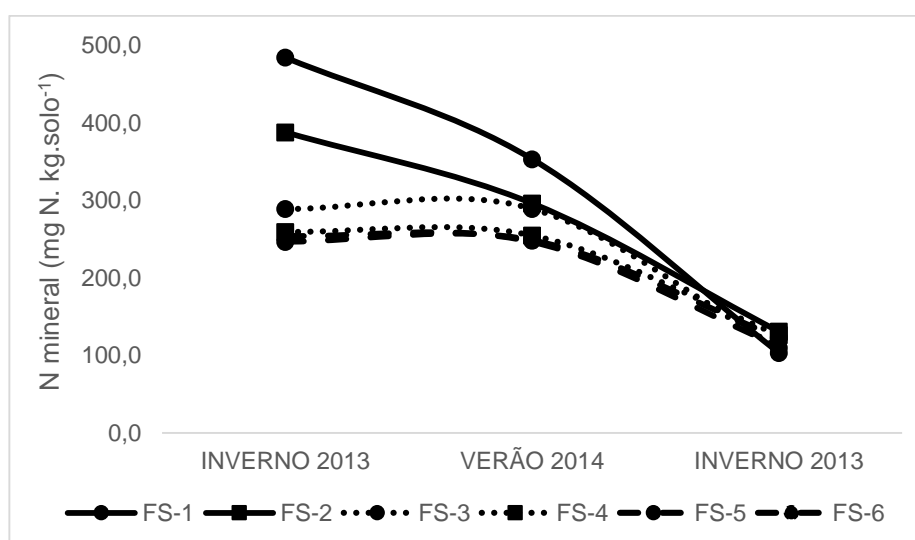


FIGURA 15. NITROGÊNIO MINERAL MÉDIO ACUMULADO EM SEIS SÍTIOS SUCESSÃO SECUNDÁRIA NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSE EM ANTONINA, PR.

Estes resultados indicam que a precipitação pode atuar de forma direta nas taxas de mineralização do solo em áreas de florestas naturais, conforme já observado em outros trabalhos. Pereira & Silva (2009) observaram que o conteúdo de nitrato e amônio no solo são regulados pelos eventos de

precipitação, ou seja, podem aumentar ou diminuir de acordo com a frequência e intensidade. Pereira (1982) e Singh et al. (1989), em sistemas savânicos mostraram taxas mais alta de nitrificação durante a estação chuvosa e as mais baixas durante o período de seca; assim, a maior disponibilidade de N na estação chuvosa, foi um indicador da disponibilidade do N ligado ao fator sazonalidade, visto que a precipitação controlou esse processo. Outro estudo, de Pereira-Silva (2008) em uma Floresta Ombrófila Densa Submontana do Sul do estado de São Paulo indicou que, além da categorização sucessional das espécies, os eventos de chuva são essenciais para a disponibilização do nitrogênio no solo e para a aquisição pelas plantas, as quais se mostram adaptadas à condição sazonal dos processos de mineralização e de nitrificação no solo. Assim como o estudo de Marrs et al. (1991), em uma Floresta de Terra Firme em Roraima, no qual foi constatado menores valores de mineralização na estação seca e maiores no início da estação chuvosa. Pereira (1982), ao estudar outros sistemas savânicos, também constatou maior disponibilidade de N durante a estação chuvosa.

Outro fato que vale a penas destacar nos resultados observados (Figura 15 e Tabela 24) é que, quando as condições foram mais favoráveis à mineralização, foi possível identificar diferenças entre as florestas estudadas quanto ao potencial de mineralização do nitrogênio; as quais não se manifestaram quando a umidade foi limitante. Apesar de não terem sido identificadas diferenças estatísticas, observa-se uma tendência de maiores valores de NPM nas florestas mais velhas, em comparação com as florestas mais jovens. Estudos prévios em florestas com diferentes idades na mesma reserva (dados não publicados) mostraram que nas florestas mais velhas a comunidade microbiana pode ser diferenciada daquela observada em florestas mais jovens.

4. CONCLUSÕES

Dos resultados observados neste trabalho conclui-se que:

- a) A mineralização do N do solo pode sofrer influência da qualidade do sítio em florestas com diferentes idades em processo sucessional, mas a manifestação das possíveis diferenças entre sítios depende das condições meteorológicas vigentes na época de coleta das amostras de solo usadas nos ensaios de mineralização.
- b) Na região deste estudo, as estações do ano por si só não parecem ser um fator de influência direta sobre a mineralização do N do solo, mas sim as condições de precipitação e temperatura vigentes quando da coleta das amostras de solo, sendo umidade do solo, talvez, o fator mais limitante sobre o processo de mineralização do N do solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRETO, A. C. et al. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Caatinga**, v.19, n.4, p.415-425, 2006.

BIESEK, M.F. **INDICADORES QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DA QUALIDADE DO SOLO EM AGROSSISTEMAS E SISTEMAS NATIVOS NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS, CASTRO, PR.** 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BINKLEY, D.; HART, S.C. The components of nitrogen availability assessments in Forest soils. **Advances in Soil Science**, Bushland, v.10, p 57-112, 1989.

BLUM, H. **CARACTERIZAÇÃO BIOGEOQUÍMICA DA SERAPILHEIRA E DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO SOB PLANTIOS COM DIFERENTES ESPÉCIES FLORESTAIS EM RIO NEGRO-PR.** 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BRUSSAARD, L., GOEDE, R. G. M. de HEMERIK, L., VERSCHOOR, B. C. Soil biodiversity: Stress and change in grasslands under restoration succession. In

R. D. Bardgett, M. B. Usher, & D. W. Hopkins (Eds.), **Biological diversity and function in soils**. p. 343-362, 2005. Cambridge: Cambridge University Press.

CANTARELLA, H. 2007. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H. ; BARROS, N. F. ; FONTES, R. L. F. ; CABTARUTTI, R. B. ; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, p. 375-470.

CAMPOS, M.L.; MARCHI, G.; LIMA, D.; SILVA, C.A. 2005. **Ciclagem de nutrientes em floresta e pastagem**. Lavras: UFLA, (Boletim Técnico).

CARVALHO, D. S. **Características da serapilheira e do solo sob florestas de coníferas e folhosas em Rio Negro, PR**. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

CARVALHO, J. L. N. **Conservação do Cerrado para fins agrícolas na Amazônia e seus impactos no solo e no meio ambiente**. 96 f. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz / Universidade de São Paulo. São Paulo, São Paulo, 2006.

CHAPIN, F.S.; MATSON, P.A.; VITOUSEK, P.M. 2011. **Principles of terrestrial ecosystem ecology**. Springer-Verlag, 2 ed., New York. 529p.

DIJK, S.M.; MEIXNER, F.X. Production and consumption of NO in forest and pasture soils from the Amazonian Basin: a laboratory study, Water, Air and Soil Pollution: **Focus**, 1: 119-130, 2001.

EPSTEIN, E; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Tradução: NUNES, M.E.T. Ed. Planta. Londrina. 2006. 401p.

FIGUEIRA, A.M. e SILVA. **Mudanças no uso e cobertura no solo na Amazônia e suas implicações no ciclo do nitrogênio**. 114f. Dissertação de Mestrado-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, São Paulo, 2006.

FUNDAÇÃO CARGILL. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa do Potássio e do Fósforo, 1998.

GEHRING, C. **The role of biological nitrogen fixation in secondary and primary forests of Central Amazonia**. 2003. 216 f. Tese Doutorado - Rheinische Friedrich- Wilhelm Universität, Bonn.

GONÇALVES, J.L.M. Efeito do cultivo mínimo sobre a fertilidade do solo e ciclagem de nutrientes. In: DISPERATI, A.A.; FERREIRA, C.A.; MACHADO, C.; GONÇALVES, J.L.M. & SOARES, R.V. **Seminário sobre cultivo mínimo do solo em florestas**, 1. Curitiba, 1995. p.43-60.

GONÇALVES, J.L.M.; MENDES, K.C.F.S.; SASAKI, C.M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 601-616, 2001.

GONÇALVES, J.L.M.; ICHERT, M.C.P.; GAVA, J.L.; SERRANO, M.I.P. Soil fertility and growth of Eucalyptus grandis in Brazil under different residue management practices. In: NAMBIAR, E.K. (Ed.). **Site Management and Productivity in Tropical Plantation Forests**. Bogor: Cifor, 2008, p. 51-62.

JORDAN, C. F. Ciclagem de nutrientes e silvicultura de plantações na Bacia Amazônica. In: **Simpósio sobre Reciclagem de Nutrientes e Agricultura de Baixos Insumos nos Trópicos**, Ilhéus, BA, 187-200. 1985.

JUSSY, J-H. **Minéralisation de l'azote, nitrification et prélèvement racinaire dans différents écosystèmes forestiers sur sol acide. Effet de l'essence, du stade de développement du peuplement et de l'usage ancien des sols**. 156f. (Tese de Doutorado), Université Henri Poincaré, Nancy, 1998.

KHANNA, P.K. Measurement of changes in the nitrogen status of Forest soils due to management practices. In: **International symposium on forest soils**, 1__ 1990, Harbin, China, Proceedings... Harbin, 1990. 1v.

KNOPS, J.M.H., BRADLEY, K.L. & WEDIN, D.A. 2002. Mechanisms of plant species impacts on ecosystem nitrogen cycling. **Ecology Letters** 5: 454–466.

KREIBLICH H. **N₂ fixation and denitrification in a floodplain forest in Central Amazonia, Brazil**. Tese de doutorado, Institut für Agrarchnik Bornim, Universidade de Potsdam, Alemanha, 2002.

LAURANCE, W. F.; COCHRANCE, M. A.; BERGEN, S.; FEARNSIDE, P. M.; DELAMONICA, P. BARBER, C.; D'ANGELO, S.; FERNANDES, T. The future of the Brazilian Amazon. **Science**, 291: 438-439. 2001.

LEA, P.J., SODEK, L., PARRY, M.A.J. SHEWRY, P.R. & HALFORD, W.G.. Asparagine in plants. **Annual Applied Botany** 150: 1-26, 2007

LIMA, A.M.N.; SILVA, I.R.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; MENDONÇA, E.D.; SMYTH, T.J.; MOREIRA, M.S.; LEITE, F.P. Soil organic carbon dynamics following afforestation of degraded pastures with eucalyptus in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 235, p. 219-231, 2006.

LUIZÃO, R.C.C.; LUIZÃO, F.J.; PAIVA, R.Q.; MONTEIRO, T.F.; SOUSA, L.S.; KRUIJT, B. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. **Global Change Biology**, Oxford, 10 (5): 592-600, 2004.

MALAVOLTA, E.; NOGUEIRA, N.G.L.; HEINRICHS, R.; HIGASHI, E.N.; RODRIGUEZ, V.; GUERRA, E.; OLIVEIRA, S.C. & CABRAL, C.P. Evaluation of nutritional status of the cotton plant with respect to nitrogen. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.** 35,1007-1020. 2004

MARRS, R.H.; THOMPSON, J.; SCOTT, D & PROCTOR, J. 1991. Nitrogen mineralization and nitrification in terra firme forest and savanna soils on Ilha de Maracá, Roraima, Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, 7: 123-137

MARTINELLI, L.A., PICCOLO, M.C., TOWNSEND, A.R., VITOUSEK, P.M., CUEVAS, E., MCDOWELL, W., ROBERTSON, G.P., SANTOS, O.C. & TRESEDER, K. Nitrogen stable isotopic composition of leaves and soil: Tropical versus temperate forests. **Biogeochemistry** 46:45-65. 1999.

MELILLO, J.M. Carbon and Nitrogen interactions in the terrestrial biosphere: anthropogenic effects. In: Walker, B.; Steffen, W. (Eds). **Global Change and Terrestrial Ecosystems**. Cambridge: University Press. p.431-450.

MOREIRA, F.M.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729p.

PEREIRA, J. 1982. Nitrogen cycling in South American savannas. **Plant and Soil**, 67: 293 - 301

PEREIRA-SILVA, E. F. L. **Ecofisiologia do uso de nitrogênio em espécies arbóreas das Florestas Ombrófila Densa Submontana e Estacional Semidescídua, SP**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2008.

PULITO, A.P. **Resposta à fertilização nitrogenada e estoque de nitrogênio biodisponível em solos usados para plantações de *Eucalyptus***. 58p. Dissertação, (Mestrado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

RHODEN, A.C.; SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O.; BRITZKE, D. & BENEDETTI, E.L. Mineralização anaeróbia do nitrogênio em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, 36:1780-1787, 2006.

RODRIGUES, de S. F.; GARRIDO, G.R. **Fluxo sazonal de nitrato no trópico úmido**. Publicação Científica da Faculdade de Agronomia de Engenharia Florestal de Garça/Faef. Ano IV número 8. 2005.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999.

SINGH, J.S.; RAGHUBANSHI, A S.; SRIVASTAVA, S.C. Microbial biomass acts as a source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna. **Nature**, 388:499-500. 1989.

SCHEINER, D. Determination of ammonia and Kjeldahl nitrogen by indophenol method. **Water Research**, 10, 31-36. 1976.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S. Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição mineral de plantas: Base para um novo paradigma na agrotecnologia do século XXI. In: SIQUEIRA, J. O. et al. Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. **Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships**. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999.

- SNEDAKER S. C. Successional immobilization of nutrients and biologically mediated recycling in tropical forests. **Biotropica** 12: 16-22, 1980.
- SPRENT, J.I.; GEOGHEGAN, I.E.; WHITTY, P.W.; JAMES, E.K. Natural Abundance of N-15 and C-13 in nodulated legumes and other plants in the cerrado and neighbouring regions of Brazil. **Oecologia**, 4(105): 440-446, 1996.
- STANFORD, G.; SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potentials of soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 36, p. 465-472, 1972.
- STEWART G.R., PATE J.S. & UNKOVICH M. Characteristics of inorganic nitrogen assimilation of plants in fire-prone Mediterranean type vegetation. **Plant, Cell and Environment** 16: 351-363. 1993.
- RIGOBELLO, E. C.; NAHAS, E. Seasonal fluctuations of bacterial population and microbial activity in soils cultivated with eucalyptus and pinus. **Scientia Agrícola**, 61:88-93, 2004.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.
- TANNER, E.V.J., VITOUSEK, P.M. & CUECAS E. Experimental investigation of nutrient limitation of forest growth on wet tropical mountains. **Ecology** 79(1): 10- 22. 1998.
- TELLES, E. C.C.; CAMARGO, P. B. de., MARTINELLI, L.A.; THUMBORE, S. E.; COSTA, E. S.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N.; OLIVEIRA, R. C. Influence of soil texture on carbon dynamics and storage potential in tropical forest soil Amazônia. **Global Biogeochemical Cycle**, 17 (2): 1029-2002, 2003.
- VAN RAIJ, B. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato (EUA). Instituto Internacional da Potassa (SUIÇA), 1981.
- WARING, S.A. & BREMNER, J.M. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. **Nature**, 201:951-952, 1964.

YAGI, R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. & BARBOSA, J.C. Mineralização potencial e líquida de nitrogênio em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:385-394, 2009.

ANEXOS

ANEXO I - INDÍCES FITOSSOCIOLÓGICOS DE SEIS SÍTIOS, EM DIFERENTES IDADES, EM FLORESTA OMBRÓFILA DENSA NA REGIÃO DE ANTONINA, PR.

FS1	DA' Ind.	DR (%)	FA (%)	FR (%)	DoA (m ² .ha ⁻¹)	DoR (%)	H (m)	DAP (cm)	VI (%)	VC (%)
<i>Psychotria nuda</i> (Cham. & Schltdl.) Wawra	465	27,79	92	9,23	2,75	7,72	4,77	7,61	44,74	35,52
<i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemão	75	4,48	47	4,71	7,1	19,95	13,39	32,13	29,15	24,43
<i>Virola bicuhyba</i> (Schott ex Spreng.) Warb.	58	3,47	40	4,01	2,47	6,96	11,17	18,2	14,44	10,42
<i>Myrcia pubipetala</i> Miq.	93	5,56	35	3,51	0,95	2,68	8,58	10,52	11,75	8,24
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	49	2,93	35	3,51	1,71	4,82	9,67	18,13	11,26	7,75
<i>Sloanea guianensis</i> (Aubl.) Benth.	52	3,11	37	3,71	1,46	4,1	8,56	13,17	10,92	7,21
<i>Cupania oblongifolia</i> Mart.	59	3,53	39	3,91	1,14	3,21	8,78	14,06	10,65	6,74
<i>Euterpe edulis</i> Mart.	68	4,06	34	3,41	0,41	1,15	5,9	8,14	8,63	5,22
<i>Bathysa australis</i> (A.St.-Hil.) K.Schum.	42	2,51	26	2,61	0,74	2,09	8,36	14,2	7,21	4,6
<i>Mollinedia schottiana</i> (Spreng.) Perkins	47	2,81	36	3,61	0,26	0,73	5,66	8,06	7,15	3,54
<i>Casearia obliqua</i> Spreng.	28	1,67	17	1,71	0,66	1,85	9,57	16,09	5,23	3,52
<i>Ficus adhatodifolia</i> Schott	4	0,24	4	0,4	1,41	3,97	14,25	53,78	4,61	4,21
<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	25	1,49	20	2,01	0,24	0,67	5,12	8,36	4,17	2,16
<i>Trichilia lepidota</i> Mart.	22	1,32	19	1,91	0,28	0,79	7,91	10,62	4,01	2,11
<i>Eugenia cereja</i> D.Legrand	23	1,37	21	2,11	0,08	0,23	5,87	6,38	3,71	1,61
FS2										
<i>Psychotria nuda</i> (Cham. & Schltdl.) Wawra	213	12,45	80	6,08	1,1	3,23	4,57	7,65	21,76	15,68
<i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemão	92	5,38	56	4,26	3,67	10,77	11,27	21,12	20,4	16,14
<i>Sloanea guianensis</i> (Aubl.) Benth.	76	4,44	53	4,03	2,23	6,54	9,95	15,94	15,01	10,98
<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg	50	2,92	34	2,59	2,22	6,51	10,71	20,78	12,02	9,43
<i>Virola bicuhyba</i> (Schott ex Spreng.) Warb.	33	1,93	30	2,28	1,27	3,74	11,3	18,62	7,95	5,67
<i>Rudgea jasminoides</i> (Cham.) Müll.Arg.	61	3,57	37	2,81	0,23	0,68	5,18	6,89	7,06	4,24
<i>Myrcia pubipetala</i> Miq.	29	1,69	24	1,83	1,16	3,41	11,93	19,4	6,93	5,1
<i>Astrocaryum aculeatissimum</i> (Schott) Burret	41	2,4	34	2,59	0,53	1,55	6,33	12,49	6,53	3,94
<i>Coussarea contracta</i> (Walp.) Benth. & Hook.f.	44	2,57	33	2,51	0,42	1,24	5,83	9,71	6,32	3,81
<i>Calypttranthes strigipes</i> O.Berg	36	2,1	29	2,21	0,5	1,48	8,78	11,73	5,79	3,58
<i>Mollinedia schottia</i> (Spreng.) Perkins	38	2,22	35	2,66	0,27	0,8	5,92	9,11	5,68	3,02
<i>Cryptocarya mandiocca</i> Meissn.	17	0,99	15	1,14	1,16	3,41	12,94	25,82	5,54	4,4
<i>Euterpe edulis</i> Mart.	38	2,22	28	2,13	0,4	1,16	7,63	10,98	5,51	3,38
<i>Bathysa australis</i> (A.St.-Hil.) K.Schum.	34	1,99	25	1,9	0,5	1,47	8,12	12,57	5,36	3,46
<i>Ocotea catharinensis</i> Mez	17	0,99	14	1,06	1,01	2,95	13,74	25,07	5,01	3,94
FS3										
<i>Psychotria nuda</i> (Cham. & Schltdl.) Wawra	376	17,96	92	7,38	1,56	4,32	4,77	7,06	29,65	22,27
<i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemão	83	3,96	56	4,49	2,88	7,95	13,53	19,23	16,41	11,91
<i>Matayba guianensis</i> Aubl.	42	2,01	33	2,65	3,72	10,26	14,7	28,37	14,91	12,26
<i>Casearia obliqua</i> Spreng.	115	5,49	49	3,93	1,51	4,17	9,67	11,87	13,59	9,66
<i>Bathysa australis</i> (A.St.-Hil.) K.Schum.	117	5,59	51	4,09	1,02	2,82	7,97	9,91	12,5	8,41
<i>Cupania oblongifolia</i> Mart.	80	3,82	53	4,25	1,55	4,29	9,54	13,68	12,36	8,11
<i>Sloanea guianensis</i> (Aubl.) Benth.	72	3,44	44	3,53	1,81	4,99	10,02	14,9	11,96	8,43
<i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill.	54	2,58	30	2,41	2,24	6,19	14,38	21,45	11,17	8,77
<i>Vochysia bifalcata</i> Warm.	34	1,62	25	2	2,07	5,7	14,69	23,31	9,33	7,33
<i>Euterpe edulis</i> Mart.	75	3,58	45	3,61	0,56	1,56	6,71	9,19	8,75	5,14
<i>Virola bicuhyba</i> (Schott ex Spreng.) Warb.	52	2,48	38	3,05	0,68	1,88	9,89	10,72	7,41	4,37
<i>Calypttranthes strigipes</i> O.Berg	68	3,25	37	2,97	0,39	1,08	7,1	7,83	7,29	4,32
<i>Casearia decandra</i> Jacq.	62	2,96	23	1,84	0,86	2,37	10,01	11,75	7,18	5,34
<i>Mollinedia schottia</i> (Spreng.) Perkins	48	2,29	36	2,89	0,32	0,88	6,41	8,65	6,06	3,17

<i>Psychotria mapourioides</i> DC.	33	1,58	23	1,84	0,74	2,06	11,83	16,04	5,48	3,63
FS4										
<i>Psychotria nuda</i> (Cham. & Schltdl.) Wawra	207	11,81	85	6,82	1	2,67	4,9	7,56	21,3	14,48
<i>Marlierea tomentosa</i> Cambess.	144	8,21	81	6,5	1,36	3,63	6,9	9,52	18,34	11,85
<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	123	7,02	67	5,37	0,94	2,5	6,11	9,31	14,89	9,51
<i>Mollinedia schottiana</i> (Spreng.) Perkins	96	5,48	59	4,73	0,88	2,36	6,53	10,01	12,57	7,83
<i>Bathysa australis</i> (A.St.-Hil.) K.Schum.	56	3,19	40	3,21	2	5,35	9,23	18,85	11,75	8,54
<i>Rudgea jasminoides</i> (Cham.) Müll.Arg.	66	3,76	41	3,29	0,31	0,82	5,11	7,41	7,87	4,58
<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp.	42	2,4	27	2,17	1,12	2,99	9,76	14,69	7,55	5,39
<i>Inga edulis</i> Mart.	33	1,88	24	1,92	1,35	3,61	11,48	20,21	7,41	5,49
<i>Cyathea atrovirens</i> (Langsd. & Fisch.) Domin	44	2,51	30	2,41	0,9	2,4	6,27	14,66	7,31	4,91
<i>Sloanea guianensis</i> (Aubl.) Benth.	25	1,43	21	1,68	1,52	4,06	12,08	22,96	7,17	5,48
<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg	47	2,68	24	1,92	0,96	2,55	9,62	13,22	7,16	5,23
<i>Rollinia sericea</i> (R.E.Fr.) R.E.Fr.	36	2,05	24	1,92	1,04	2,79	9,28	17,31	6,77	4,84
<i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemão	28	1,6	21	1,68	1,29	3,45	11,5	20,69	6,73	5,04
<i>Endlicheria paniculata</i> (Spreng.) J.F.Macbr.	37	2,11	30	2,41	0,26	0,69	7,22	8,86	5,2	2,8
<i>Viola bicuhyba</i> (Schott ex Spreng.) Warb.	22	1,25	21	1,68	0,79	2,1	11,95	19,56	5,04	3,36
FS5										
<i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill.	259	13,72	74	6,54	4,66	13,59	10,55	13,44	33,85	27,31
<i>Amaioua guianensis</i> Aubl.	170	9	66	5,84	2,21	6,44	9,28	11,79	21,28	15,44
<i>Myrcia pubipetala</i> Miq.	124	6,57	59	5,22	1,58	4,6	10,64	11,46	16,38	11,17
<i>Matayba guianensis</i> Aubl.	56	2,97	43	3,8	2,14	6,25	12,76	19,15	13,02	9,22
<i>Mollinedia schottiana</i> (Spreng.) Perkins	107	5,67	55	4,86	0,48	1,39	5,84	7,18	11,93	7,06
<i>Vochysia bifalcata</i> Warm.	33	1,75	16	1,41	2,87	8,36	15,71	27,68	11,53	10,11
<i>Attalea dubia</i> (Mart.) Burret	43	2,28	33	2,92	2,13	6,2	11,4	24,88	11,4	8,48
<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees & Mart.	33	1,75	27	2,39	2,15	6,26	16,12	27,63	10,4	8,01
<i>Tetrastylidium grandifolium</i> (Baill.) Sleumer	73	3,87	47	4,16	0,62	1,81	9,07	9,7	9,83	5,67
<i>Psychotria suterella</i> Müll.Arg.	78	4,13	45	3,98	0,59	1,71	5,85	7,35	9,82	5,84
<i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemão	59	3,13	42	3,71	0,91	2,66	10,27	12,95	9,5	5,78
<i>Jacaranda puberula</i> Cham.	63	3,34	41	3,63	0,58	1,69	7,56	9,87	8,65	5,03
<i>Sloanea guianensis</i> (Aubl.) Benth.	47	2,49	34	3,01	0,82	2,39	10,62	12,68	7,89	4,88
<i>Cupania oblongifolia</i> Mart.	55	2,91	36	3,18	0,59	1,73	8,28	10,11	7,83	4,64
<i>Protium kleinii</i> Cuatr.	29	1,54	20	1,77	1,03	3,02	13,9	18,88	6,32	4,55
FS6										
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.	470	21,45	99	11,6	6,14	24,61	9,17	11,97	57,65	46,06
<i>Tibouchina pulchra</i> Cogn.	387	17,66	66	7,73	5,44	21,83	9	11,91	47,22	39,49
<i>Acinodendron cinerascens</i> (Miq.) Kuntze	343	15,65	86	10,1	2,78	11,15	5,94	8,54	36,87	26,8
<i>Casearia obliqua</i> Spreng.	196	8,95	57	6,67	1,37	5,48	7,09	8,97	21,1	14,42
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	134	6,12	61	7,14	0,95	3,81	6,47	8,91	17,07	9,92
<i>Miconia cinnamomifolia</i> (DC.) Naudin	106	4,84	60	7,03	0,97	3,91	8,58	10,02	15,77	8,75
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	58	2,65	33	3,86	0,71	2,84	8,52	11,41	9,35	5,49
<i>Ilex pseudobuxus</i> Reissek	45	2,05	31	3,63	0,59	2,38	7,56	11,36	8,06	4,43
<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg	35	1,6	27	3,16	0,46	1,82	8,09	11,69	6,58	3,42
<i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill.	39	1,78	20	2,34	0,37	1,5	8,1	9,98	5,62	3,28
<i>Senna multijuga</i> (L.C. Richard) H.S. Irwin & Barneby	32	1,46	25	2,93	0,3	1,2	6,81	10,32	5,58	2,66
<i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemão	22	1	21	2,46	0,37	1,48	7,95	10,95	4,95	2,49
<i>Miconia cabussu</i> Hoehne	29	1,32	22	2,58	0,24	0,95	7,34	9,7	4,85	2,27
<i>Casearia decandra</i> Jacq.	21	0,96	14	1,64	0,19	0,77	7,52	9,43	3,37	1,73
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	16	0,73	16	1,87	0,14	0,56	7,44	9,64	3,16	1,29

¹DA = densidade absoluta; Ind.= Indivíduos; DR = densidade relativa; FA = frequência absoluta; FR = frequência relativa; DoA = dominância absoluta; DoR = dominância relativa; H= altura; DAP = Diâmetro a altura do peito; VI = valor de importância; VC = valor de cobertura. Adaptado de SPVS (dados não publicados).

ANEXO II - FITOMASSA ACUMULADA (Mg.ha⁻¹) TOTAL E FRAÇÕES NO PERÍODO DE DOIS ANOS EM SEIS SÍTIOS EM FORMAÇÕES SECUNDÁRIAS NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA SUBMONTANA EM ANTONINA, PR.

	ESTAÇÃO/ANO	SAT ¹	FD	FR	R	MI	OG
FS1	Inverno/13	5,36 (34,3) ²	1,82 (56,6)	0,22 (93,9)	1,32 (89,6)	1,95 (38,1)	0,05 (178,3)
	Verão/13	4,05 (22,1)	1,46 (27,9)	0,15 (66,2)	1,02 (53,2)	1,29 (25,3)	0,13 (202,6)
	Inverno/14	5,58 (36,3)	2,28 (40,8)	0,13 (48,4)	1,12 (85,9)	1,96 (54,6)	0,08 (136,9)
	Verão/14	2,67 (18,2)	1,59 (22,0)	0,16 (53,5)	0,28 (62,5)	0,59 (41,3)	0,04 (281,8)
FS2	Inverno/13	2,31 (40,2)	0,82 (34,4)	0,18 (70,4)	0,84 (56,4)	0,44 (57,8)	0,03 (247,5)
	Verão/13	3,11 (28,7)	1,24 (38,9)	0,15 (73,3)	0,83 (56,4)	0,80 (38,8)	0,09 (233,9)
	Inverno/14	3,07 (41,5)	1,25 (61,7)	0,14 (43,8)	0,79 (77,6)	0,79 (61,3)	0,10 (246,8)
	Verão/14	4,15 (26,2)	2,02 (31,7)	0,16 (85,1)	1,08 (55,6)	0,86 (38,3)	0,03 (196,2)
FS3	Inverno/13	3,57 (41,7)	1,17 (47,1)	0,08 (93,4)	0,81 (87,5)	1,51 (57,3)	0,01 (395,4)
	Verão/13	3,10 (32,5)	0,97 (29,6)	0,10 (85,6)	0,84 (70,8)	1,14 (33,9)	0,05 (317,0)
	Inverno/14	4,38 (42,9)	2,18 (50,9)	0,17 (66,2)	0,90 (77,5)	1,10 (57,1)	0,03 (250,4)
	Verão/14	2,80 (23,1)	1,69 (30,9)	0,12 (88,0)	0,54 (69,8)	0,45 (27,3)	0,01 (337,3)
FS4	Inverno/13	1,98 (41,2)	0,82 (41,6)	0,20 (109,6)	0,51 (71,8)	0,42 (49,5)	0,03 (332,2)
	Verão/13	2,39 (42,7)	1,21 (36,9)	0,07 (113,3)	0,55 (73,0)	0,51 (53,3)	0,05 (258,3)
	Inverno/14	3,62 (40,1)	1,70 (36,4)	0,11 (77,9)	0,93 (94,2)	0,85 (65,7)	0,03 (392,1)
	Verão/14	4,78 (34,2)	2,35 (31,7)	0,14 (78,9)	1,00 (83,0)	1,14 (40,3)	0,14 (352,9)
FS5	Inverno/13	2,74 (52,7)	1,07 (53,9)	0,19 (136,2)	0,85 (84,6)	0,59 (64,9)	0,04 (261,2)
	Verão/13	2,97 (39,8)	1,21 (44,7)	0,14 (87,8)	1,01 (93,4)	0,53 (48,5)	0,08 (320,1)
	Inverno/14	2,70 (55,6)	1,06 (41,1)	0,21 (61,9)	0,71 (107,5)	0,68 (62,5)	0,04 (380,8)
	Verão/14	3,79 (27,2)	1,93 (28,8)	0,17 (60,5)	0,47 (70,3)	1,04 (40,4)	0,18 (434,2)
FS6	Inverno/13	2,67 (45,4)	0,60 (45,0)	0,07 (201,9)	0,82 (79,8)	1,18 (52,7)	0,00 (266,8)
	Verão/13	1,94 (45,7)	0,77 (55,2)	0,05 (87,7)	0,66 (67,2)	0,46 (46,6)	0,00 (450,1)
	Inverno/14	4,25 (37,0)	1,59 (44,6)	0,12 (43,9)	1,47 (60,3)	1,04 (60,6)	0,02 (137,3)
	Verão/14	2,43 (34,6)	1,11 (45,5)	0,10 (85,3)	0,82 (50,9)	0,40 (48,0)	0,01 (347,6)

¹SAT- Serapilheira acumulada total; FD – Folhas em decomposição; FR- folhas recém caídas; R- Ramos; MI – Miscelânea; OG – Órgãos reprodutivos.

² Os valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.